

TUGAS AKHIR - TM 141585

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI
SUDUT PENEMPATAN PLAT DATAR
PENGANGGU DI DEPAN *RETURNING*
BLADE TERHADAP PERFORMA TURBIN
ANGIN *SAVONIUS***

“Studi Kasus untuk $(L/D) = 1$; $\theta = 0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$;
Bilangan *Reynolds* = $3,0 \times 10^4$; $6,0 \times 10^4$ dan $9,0 \times 10^4$ ”

Annas Fauzy
NRP 2112 100 076

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - TM 141585

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI SUDUT
PENEMPATAN PLAT DATAR PENGANGGU DI
DEPAN *RETURNING BLADE* TERHADAP
PERFORMA TURBIN ANGIN *SAVONIUS***

“Studi Kasus untuk $(L/D) = 1$; $\theta = 0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$;
Bilangan *Reynolds* = $3,0 \times 10^4$; $6,0 \times 10^4$ dan $9,0 \times 10^4$ ”

ANNAS FAUZY
NRP 2113 100 044

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA

PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

FINAL PROJECT - TM 141585

**EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF
OBSTACLE PLATE ANGLE IN FRONT OF
RETURNING BLADE OF SAVONIUS TYPE WIND
TURBINE TO THE TURBINE PERFORMANCE**

*“Case Study for The Ratio Length of Obstacle Plate Relative
to The Diameter of Turbine (L/D) = 1; $\theta = 0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$;
Reynolds Number = 3.0×10^4 ; 6.0×10^4 and 9.0×10^4 “*

ANNAS FAUZY
NRP 2113 100 044

Faculty Advisor
Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI SUDUT
PENEMPATAN PLAT DATAR PENGANGGU DI
DEPAN *RETURNING BLADE* TERHADAP PERFORMA
TURBIN ANGIN *SAVONIUS***

“Studi Kasus untuk $(L/D) = 1$; $\theta = 0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$; Bilangan
Reynolds = 3×10^4 , $6,0 \times 10^4$, dan 9×10^4 ”

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ANNAS FAUZY
NRP. 2113 100 044

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Triyogi Yuwono, DEA
(NIP. 196001291987011001)(Pembimbing)
2. Prof. Ir. Sutardi, M.Eng. PhD
(NIP. 196412281990031002) (Penguji I)
3. Dr. Wawan Aries Widodo, ST. MT
(NIP. 197104051997021001) (Penguji II)
4. Dr. Ir. Heru Mirmanto
(NIP. 196202161995121001) (Penguji III)

**SURABAYA
JULI 2017**

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI SUDUT PENEMPATAN PLAT DATAR PENGANGGU DI DEPAN *RETURNING BLADE* TERHADAP PERFORMA TURBIN ANGIN *SAVONIUS*

“Studi Kasus untuk $(L/D) = 1$; $\theta = 0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$;
Bilangan *Reynolds* = $3,0 \times 10^4$; $6,0 \times 10^4$ dan $9,0 \times 10^4$ ”

Nama Mahasiswa : Annas Fauzy
NRP : 2113 100 044
Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA

ABSTRAK

Energi adalah masalah klasik yang sering dijumpai dalam berbagai aspek kehidupan. Kondisi cadangan bahan bakar fosil semakin menipis seiring besarnya angka eksploitasi sumber daya alam tak terbarui. Banyak sekali energi bebas yang dapat dimanfaatkan, salah satunya energi angin. Energi angin ini dapat diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan generator dan turbin angin. Banyak tipe turbin angin yang digunakan, termasuk turbin angin *Savonius*. Turbin ini memiliki konstruksi rotor tegak lurus dengan sumbu vertikal. Turbin angin *Savonius* mempunyai desain yang sederhana dan membutuhkan *cost* yang rendah dibanding turbin tipe lain. Tetapi turbin angin *Savonius* memiliki kelemahan, salah satunya adalah efisiensi yang rendah. Salah satu cara untuk meningkatkan performa turbin angin *Savonius* adalah meletakkan plat pengganggu di depan *returning blade*.

Penelitian ini menggunakan sumber aliran udara eksternal dari *axial fan* dengan bilangan *Reynolds* $3,0 \times 10^4$; $6,0 \times 10^4$ dan $9,0 \times 10^4$ dengan berdasarkan pada panjang karakteristik $d = 2D-b$ (dimana D adalah diameter sudu turbin, b adalah lebar *overlap* sudu turbin) dan kecepatan aliran udara. Kecepatan aliran udara dari *axial fan* diatur menggunakan *voltage regulator* untuk mengatur kecepatan putar *fan*. Selanjutnya aliran udara diarahkan menuju *honeycomb* terlebih dahulu sebelum menuju benda uji.

Benda uji yang digunakan adalah turbin angin *Savonius* dengan diameter dan tinggi masing-masing 101,6 mm dan 300 mm. Plat pengganggu dengan lebar, tinggi dan tebal masing-masing 101,6 mm, 300 mm dan 3 mm yang ditempatkan di depan *returning blade* dengan sudut penempatan plat divariasikan dari 0° sampai dengan 90° dengan kenaikan 5° . Dari variasi ini diukur kecepatan putar turbin menggunakan *tachometer*, torsi statis dengan menggunakan *torque meter* serta torsi dinamis dari turbin diukur menggunakan *brake dynamometer*.

Pada penelitian ini dihasilkan pada $Re\ 3,0 \times 10^4$ kenaikan maksimum dari kecepatan putar sebesar 1,129 kali, pada $Re\ 6,0 \times 10^4$ kenaikan kecepatan putar maksimum sebesar 1,240 kali dan pada $Re\ 9,0 \times 10^4$ kenaikan kecepatan putar maksimum sebesar 1,132 kali. Pada $Re\ 3,0 \times 10^4$ nilai torsi statis meningkat sebesar 1,9 kali dibandingkan tanpa plat pengganggu, $Re = 6,0 \times 10^4$ nilai torsi statis meningkat sebesar 2,03 kali disbanding tanpa plat pengganggu, dan pada $Re\ 9,0 \times 10^4$ kenaikan torsi statis hingga 2,47 kali disbanding tanpa plat pengganggu. *Coefficient of Power* dari turbin meningkat hingga 1,16 kali lipat dibanding tanpa plat pengganggu pada $Re\ 3,0 \times 10^4$. Pada $Re = 6,0 \times 10^4$ *Coefficient of Power* turbin meningkat sebesar 1,4 kali lipat disbanding tanpa plat pengganggu dan pada $Re\ 9,0 \times 10^4$ kenaikan *Coefficient of Power* sebesar 1,002 kali lipat dibanding tanpa plat pengganggu. Untuk semua bilangan *Reynolds* yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan sudut bukaan plat pengganggu optimum bernilai 0° .

Kata Kunci : Aliran eksternal, performa turbin, plat pengganggu, turbin *Savonius*

**EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF
OBSTACLE PLATE ANGLE IN FRONT OF RETURNING
BLADE OF SAVONIUS TYPE WIND TURBINE TO THE
TURBINE PERFORMANCE**

*“Case Study for The Ratio Length of Obstacle Plate Relative to
The Diameter of Turbine (L/D) = 1; $\theta = 0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$;
Reynolds Number = 3.0×10^4 ; 6.0×10^4 and 9.0×10^4 “*

Student's Name : Annas Fauzy
NRP : 2113 100 044
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
Advisor : Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA

ABSTRACT

Energy is the classic problem that encountered in many kinds of aspect. The diminish of fuel reserve are increase due to exploitation of non renewable resource. There are many kinds of free energy that can be utilized, such as wind energy. This kind of energy can be convert into electrical energy with generator and wind turbine. There is many kinds of wind turbine, such as Savonius wind turbine. This turbine has the construction like a vertical rotor. Simple design and low cost material are the advantage of this type of turbine, but low efficient are the lack of this turbine. So, the objective of this study is to increase the performance of the Savonius wind turbine by placing an obstacle plate in front of its returning blade.

This research use the air flow from the mounted axial fan with Reynolds number 3.0×10^4 ; 6.0×10^4 ; and 9.0×10^4 , based on the characteristic length witches $2D-b$ (where D is the diameter of turbine and b is the width of blades turbine overlap) and the wind speed. The dimension of the turbine are 101.6 mm of diameters (D) and 300 mm of height (H). The dimension of the obstacle plate are 101.6 mm of width (L) and 300 mm of height (H) and 3 mm of thickness (t). This plate is placed in front of the returning blade with the variation of plate angle from 0° to 90° . In this experimental, the tachometer is used for measuring the

rotation of the rotor turbine the static torque is measured by torque meter and brake dynamometer is used for measuring the dynamic torque of turbine.

The result of this experiment shows that for the Reynolds number of 3.0×10^4 the increment rotation of turbine with obstacle plate is 1.129 times higher than without obstacle plate. The addition of Reynolds number into 6.0×10^4 the rotation of turbine raise up to 1.240 times higher than without obstacle plate. After that, with Reynolds number of 9.0×10^4 the increment rotation of turbine are 1.132 times than without obstacle plate. The value of static torque with Reynolds number 3.0×10^4 are increase up to 1.9 times than without obstacle plate. The addition of Reynolds number into 6.0×10^4 obtained 2.03 times increment of static torque than without obstacle plate. After that for the Reynolds number of 9.0×10^4 the increment of static torque are 2.47 times than without obstacle plate. The value of Coefficient of Power (CoP) for the Reynolds number of 3.0×10^4 with obstacle plate is 1.16 times higher than without obstacle plate. Than, for the Reynolds number of 6.0×10^4 the increment of Coefficient of Power (CoP) is 1.4 times higher than without obstacle plate. After that, for the Reynolds number of 9.0×10^4 the increment of Coefficient of Power (CoP) is 1.002 times higher than without obstacle plate. Finally, the best angle of obstacle plate is 0° . In this angle, shows the best increment result of rotation of turbine, static torque, and coefficient of power

Keywords : external flow, obstacle plate, Savonius turbine, turbine performance

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena rahmat dan hikmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir yang berjudul:

“STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI SUDUT PENEMPATAN PLAT DATAR PENGANGGU DI DEPAN RETURNING BLADE TERHADAP PERFORMA TURBIN ANGIN SAVONIUS ”

Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus dipenuhi dalam Program Studi S-1 Teknik Mesin FTI-ITS. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA. selaku dosen pembimbing tugas akhir ini, yang selalu memberikan bimbingan dan semangat pada penulis.
2. Bambang Pramujati, ST, M.Sc.Eng, PhD. selaku ketua Departemen Teknik Mesin - ITS.
3. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar dan karyawan di Departemen Teknik Mesin - ITS.
4. Bapak Agus Harijono serta Ibu Veny Widi Bardhayanti yang tak henti hentinya memberikan support baik dalam hal fisik maupun psikis.
5. Saudara Aznar Fauzan dan Varah Nuzulfah yang selalu memberikan kebahagiaan, dukungan serta bantuan dalam kemanjaan kalian berdua.
6. Saudara sekalian yang ada di Malang, alumni SMAN 1 Malang, PATRETA 33, Serta sahabat *Scienza Fresco* tercinta.
7. Anggi Malwindasari, yang tak henti hentinya memberikan support dan bantuannya demi kelancaran skripsi ini.
8. Sahabat M56 angkatan 2013, teman seperjuangan yang akan menjadi sahabat dan saudara selamanya selama menjalani masa perkuliahan.
9. Teman teman “Begals” LBMM 2013 yang selalu membagikan keceriaan dan kegilaan dari mereka.

10. Teman teman Divisi Organisasi LBMM yang selalu ada dalam semua kondisi baik suka maupun duka.
11. Teman Teman Sapuangin yang mengajarkan kita akan profesionalitas dan kekeluargaan dalam bekerja sehingga kita bias menjadi team work yang baik. Khusus untuk Tanya yang meminta agar namanya ditulis disini.
12. Sahabat KSE ITS, dimana merupakan tempat bercerita, bercanda, bertukar pikiran dan yang terpenting arti sebuah kekeluargaan yang mungkin tidak akan kita dapatkan di tempat lain.

Penulis menyadari bahwa mungkin masih ada kekurangan dalam laporan ini, sehingga kritik dan saran penulis terima. Semoga laporan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan pihak yang membacanya.

Surabaya, 30 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	x
KATA PENGANTAR.....	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR NOTASI	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Energi Angin.....	7
2.2 Turbin Angin Tipe <i>Savonius</i>	8
2.3 Gaya <i>Drag</i>	10
2.4 Perhitungan Daya dan <i>Coefficient of Power (CoP)</i>	11
2.5 Bilangan <i>Reynolds</i>	14
2.6 <i>Tip Speed Ratio (TSR)</i>	15
2.7 Penelitian Terdahulu.....	16
2.7.1 Pemberian Plat Pengganggu dan Pengarah pada Turbin <i>Savonius</i>	17
2.7.2 Membandingkan Performa Turbin <i>Savonius</i> Dua Sudu dan Tiga Sudu dengan Pemberian Plat Pengganggu .	23
2.7.3 Studi Eksperimen Pengaruh Sudut Plat Pengganggu di Depan <i>Returning Blade</i> Turbin Angin Tipe <i>Savonius</i> Terhadap Performa Turbin	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1 Analisa Dimensi	33
3.2 Peralatan	37
3.2.1 <i>Axial Fan</i>	37
3.2.2 Benda Uji.....	39

3.2.3 Penyangga Turbin Angin <i>Savonius</i>	40
3.2.4 Honeycomb.....	41
3.2.5 Alat Ukur.....	41
3.2.6 Pelumas	47
3.3 Metodologi Numerik	47
3.4 Prosedur Pengambilan Data.....	50
3.5 <i>Flowchart</i> Pengambilan data	52
3.6 Urutan Langkah Penelitian	55
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	57
4.1 Contoh Perhitungan	57
4.1.1 Perhitungan Bilangan <i>Reynolds</i>	57
4.1.2 Perhitungan <i>Tip Speed Ratio (TSR)</i>	59
4.1.3 Perhitungan Coefficient of Power (<i>CoP</i>).....	60
4.2 Analisa Performa Turbin Angin <i>Savonius</i> Tanpa Plat Datar Pengganggu dengan Bilangan <i>Reynolds</i> $3,0 \times 10^4$; $6,0 \times 10^4$ dan $9,0 \times 10^4$	60
4.2.1 Analisa Kecepatan Putar (rpm) Sebagai Fungsi Bilangan <i>Reynolds</i>	61
4.2.2 Torsi Statis (Ncm) Sebagai Fungsi Bilangan <i>Reynolds</i>	62
4.2.3 <i>Coefficient of Power (%)</i> Sebagai Fungsi Bilangan <i>Reynolds</i>	63
4.3 Analisa Performa Turbin Angin <i>Savonius</i> dengan Pemberian Plat Datar Pengganggu dengan Bilangan <i>Reynolds</i> $3,0 \times 10^4$; $6,0 \times 10^4$ dan $9,0 \times 10^4$	64
4.4 Simulasi Aliran pada Turbin Angin <i>Savonius</i> Dengan Plat Pengganggu dengan Menggunakan <i>Software</i> Star CCM+	78
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	85
5.1 Kesimpulan.....	85
5.2 Saran	86
DAFTAR PUSTAKA.....	87
LAMPIRAN	89
BIODATA PENULIS.....	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Turbin <i>Savonius</i>	9
Gambar 2. 2 Bagian-bagian dari Turbin <i>Savonius</i>	9
Gambar 2. 3 Penguraian komponen gaya <i>drag</i> terhadap.....	11
Gambar 2. 4 Grafik Hubungan antara Koefisien Daya dan Tip ..	16
Gambar 2. 5 Susunan turbin <i>Savonius</i> dan plat pengganggu.....	17
Gambar 2. 6 Grafik pengaruh penambahan plat pengganggu	18
Gambar 2. 7 Grafik pengaruh kecepatan putar turbin terhadap...	19
Gambar 2. 8 Grafik pengaruh torsi yang dihasilkan terhadap	19
Gambar 2. 9 Susunan plat pengganggu baru (Altan &	20
Gambar 2. 10 Perbandingan nilai torsi statis maksimum antara .	21
Gambar 2. 11 Perubahan torsi berdasarkan sudut pengganggu ...	22
Gambar 2. 12 Pengaruh susunan pengganggu terhadap daya	23
Gambar 2. 13 Skema susunan plat pengganggu pada turbin	23
Gambar 2. 14 Perbandingan struktur aliran pada saat <i>self starting</i>	24
Gambar 2. 15 Grafik performa turbin <i>Savonius</i> dengan dua sudu	25
Gambar 2. 16 Grafik performa turbin <i>Savonius</i> tiga sudu sebelum	26
Gambar 2. 17 Skema Penelitian (Yoga 2016)	27
Gambar 2. 18 Grafik nilai torsi statis yang dihasilkan turbin.....	28
Gambar 2. 19 Grafik nilai peningkatan torsi statis yang	28
Gambar 2. 20 Grafik nilai daya <i>output</i> yang dihasilkan turbin ...	29
Gambar 2. 21 Grafik nilai <i>Coefficient of Power</i> yang	29
Gambar 2. 22 Grafik peningkatan nilai <i>Coefficient of Power</i> yang	30
Gambar 2. 3 Grafik nilai <i>Coefficient of Power</i> yang dihasilkan .	30
 Gambar 3. 1 Skema Penelitian (pandangan atas)	33
Gambar 3. 2 <i>Axial fan</i> CKE SPV-18	38
Gambar 3. 3 Skema penelitian dan dimensi alat	39
Gambar 3. 4 Skema Turbin Angin <i>Savonius</i>	39
Gambar 3. 5 Plat sebagai Pengganggu	40
Gambar 3. 6 Penyangga turbin angin <i>Savonius</i>	40

Gambar 3. 7 <i>Honeycomb</i>	41
Gambar 3. 8 <i>Tachometer</i> OMEGA seri HHT12.....	42
Gambar 3. 9 Skema pengukuran <i>brake dynamometer</i>	43
Gambar 3. 10 Timbangan Shimadzu ELB300.....	45
Gambar 3. 11 Anemometer	45
Gambar 3. 12 <i>Torque meter</i> LUTRON model TQ-8800.....	46
Gambar 3. 13 <i>Multi Purpose Lubricant</i>	47
Gambar 3. 14 Skema Simulasi Numerik	48
Gambar 3. 15 Skema <i>Meshing</i>	49
Gambar 3. 16 <i>Boundary condition</i> turbin angin <i>Savonius</i>	50
Gambar 3. 17 <i>Flowchart</i> Pengambilan Data	53
Gambar 4. 1 Grafik kecepatan putar turbin angin tanpa plat.....	61
Gambar 4. 2 Grafik torsi statis turbin angin <i>Savonius</i> tanpa	62
Gambar 4. 3 Grafik <i>CoP</i> turbin angin <i>Savonius</i> tanpa plat	63
Gambar 4. 4 Grafik kecepatan putar turbin angin <i>Savonius</i>	65
Gambar 4. 5 Grafik perbandingan kecepatan putar antara turbin	67
Gambar 4. 6 Grafik torsi statis turbin angin <i>Savonius</i>	68
Gambar 4. 7 Grafik perbandingan torsi statis antara turbin angin	69
Gambar 4. 8 Grafik <i>Coefficient of Power (CoP)</i> turbin angin.....	71
Gambar 4. 9 Grafik perbandingan <i>Coefficient of Power</i> antara ..	73
Gambar 4. 10 Grafik <i>Coefficient of Power (CoP)</i> turbin angin....	74
Gambar 4. 11 Grafik torsi statis turbin angin <i>Savonius</i>	75
Gambar 4. 12 Grafik <i>Coefficient of Power</i> Turbin Angin	77
Gambar 4. 13 Simulasi distribusi tekanan pada turbin angin	78
Gambar 4. 14 Simulasi distribusi tekanan pada turbin angin	79
Gambar 4. 15 Simulasi distribusi tekanan pada turbin angin	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tingkatan kecepatan angin 10 meter permukaan tanah	8
Tabel 2. 2 Variasi panjang dari plat penganggu dan pengarah....	18
Tabel 3.1 Spesifikasi <i>Axial fan CKE SPV-18</i>	38
Tabel 3.2 Spesifikasi Tachometer OMEGA seri HHT12	42
Tabel 3.3 Spesifikasi Pegas	44
Tabel 3.4 Spesifikasi Benang Nilon Optimum	44
Tabel 3.5 Spesifikasi timbangan Shimadzu ELB300	45
Tabel 3.6 Spesifikasi Omega HHF141 Vane Anemometer	46
Tabel 3.7 Spesifikasi Omega HHF141 Vane Anemometer	46
Tabel 3.8 Spesifikasi Torque meter LUTRON mode TQ-8800 ..	47
Tabel 3.9 <i>Table planner</i> penelitian	55

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

D	diameter sudu turbin angin Savonius (mm)
L	lebar plat pengganggu (mm)
H	tinggi turbin angin Savonius (mm)
b	<i>overlap diameter</i> (mm)
θ	sudut plat pengganggu (<i>derajat</i>)
S	lebar proyeksi plat pengganggu (mm)
t	lebar plat pengganggu (mm)
Re	bilangan Reynolds
ρ	densitas udara (kg/m^3)
μ	viskositas fluida (Ns/m^2)
U	kecepatan aliran udara (m/s)
A	luas penampang turbin (m^2)
W	usaha (<i>Joule</i>)
F	gaya (<i>Newton</i>)
s	perpindahan (m)
P_w	daya kinetis angin (<i>Watt</i>)
P_t	daya mekanis turbin (<i>Watt</i>)
E_k	energi kinetis (<i>Joule</i>)
t	waktu (s)
\dot{m}	<i>mass flow rate</i> (kg/s)
T	torsi (Nm)
n	kecepatan putar (<i>rpm</i>)
CoP	<i>coefficient of power</i>
TSR	<i>tip speed ratio</i>
v	kecepatan tangensial (m/s)
ω	kecepatan sudut (rad/s)
R	jari-jari (m)
g	percepatan gravitasi (m/s^2)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi adalah masalah klasik yang sering dijumpai dalam berbagai aspek kehidupan. Aspek energi sering menjadi polemik di setiap negara. Kecenderungan untuk tergantung dengan bahan bakar fosil masih terjadi di berbagai belahan dunia. Sedangkan kondisi cadangan bahan bakar fosil semakin menipis seiring besarnya angka eksploitasi sumber daya alam tak terbarui. Berdasarkan hal itu maka mulailah gerakan dari berbagai pihak untuk mencari sumber energi alternative guna memenuhi kekurangan kebutuhan energi.

Banyak sekali sumber energi bebas yang tersebar secara luas di permukaan bumi ini, diantaranya adalah energi angin. Energi ini merupakan energi yang bisa dimanfaatkan energi geraknya lalu dikonversi menjadi energi listrik yang ramah lingkungan. Metode pemanfaatan energi ini dapat dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya dengan menggunakan turbin angin yang memiliki berbagai jenis.

Turbin *Savonius* adalah turbin yang memiliki dimensi suatu rotor sumbu tegak yang dikembangkan *engineer* asal finlandia Singuard Savonius pada tahun 1920. Mekanisme pembuatan turbin ini adalah dengan membagi plat yang dibelah menjadi dua bagian sama besar, selanjutnya dirangkai seperti membentuk huruf 'S'. Secara umum turbin *Savonius* memiliki dua bagian utama, yaitu *returning blade* dan *advancing blade*. Pada saat turbin *Savonius* konvensional bekerja, dorongan dari angin yang mengalir, menyebabkan adanya gaya *drag* pada kedua *blade* turbin. Tetapi gaya *drag* yang timbul pada *advancing* dan *returning blade* memiliki perbedaan nilai yang disebabkan oleh profil dari *blade* terhadap profil aliran angin. Perbedaan gaya *drag* pada kedua *blade* turbin tersebut menyebabkan adanya torsi yang dapat memutar turbin *Savonius*. Apabila torsi yang dihasilkan tersebut dikalikan dengan kecepatan anguler turbin maka akan didapatkan daya turbin *Savonius*. Sehingga semakin

besar perbedaan gaya *drag* antara *advancing blade* dan *returning blade* maka daya yang dihasilkan juga semakin besar. Untuk memperbesar selisih gaya *drag* tersebut dapat dilakukan dengan cara memberi pengganggu di depan *returning blade*, sehingga gaya *drag* pada *returning blade* menurun. Selain itu dapat juga dengan cara mengarahkan aliran dari daerah *returning blade* ke *advancing blade* sehingga dapat memperbesar gaya *drag* pada *advancing blade*.

Pada penelitian **Altan et al (2008)** dilakukan percobaan dengan memberikan plat pengganggu didepan *returning blade* dan plat pengarah di depan *advancing blade*. Pada percobaan ini digunakan tiga buah variasi panjang dan sudut pada plat pengganggu serta plat pengarah. Hasil yang didapatkan yaitu nilai daya terbesar terletak pada turbin *Savonius* dengan plat pengganggu yang terpanjang, dimana dengan penambahan plat pengganggu nilai daya naik hingga 38,5%.

Pada penelitian **Thevenin et al (2010)** dilakukan simulasi pemberian plat pengganggu di depan *returning blade* turbin *Savonius* menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)* dengan variasi besar sudut plat (β) dan speed ratio (λ). Pada penelitian ini plat pengganggu diletakkan pada posisi ($X_1/R = -1,2383$; $Y_1/R = -0,4539$; $X_2/R = -1,0999$ dan $Y_2/R = -1,1770$ dengan sudut $\beta = 100,8^\circ$). Hasil yang diperoleh adalah pada turbin *Savonius* yang telah diberi pengganggu terjadi kenaikan daya output sebesar 38,9% pada $\lambda = 0,7$ dan juga terjadi kenaikan torsi sebesar 75,4% pada $\lambda = 1,4$ dibandingkan tanpa plat pengganggu.

Pada penelitian **Mohamed et al (2010)** membandingkan antara turbin *Savonius* yang menggunakan dua sudu dan tiga sudu dimana masing-masing turbin diberi plat pengganggu didepan *returning blade* dengan variasi besar sudut plat (β) dan *speed ratio* (λ). Analisa dalam penelitian ini digunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Hasil yang didapat adalah dengan penambahan plat pengganggu dapat meningkatkan kemampuan *self-starting* pada turbin *Savonius* dua sudu maupun tiga sudu. Adanya pemberian plat pengganggu meningkatkan koefisien daya yang dihasilkan sebesar 27,3% pada turbin

Savonius dengan menggunakan dua sudu dan meningkatkan koefisien daya sebesar 27,5% pada turbin *Savonius* dengan menggunakan tiga sudu.

Penelitian terakhir dilakukan oleh **Yoga (2016)** yaitu memberikan plat penghalang yang diletakkan di depan sisi *returning blade*. Pada penelitian ini dihasilkan plat pengganggu dengan $L/D=1,4144$ paling efektif digunakan untuk meningkatkan kecepatan putar turbin *Savonius* saat diletakkan pada sudut bukaan plat 40° dan bilangan *Reynolds* 60.000 dengan kenaikan sebesar 1,67 kali dibandingkan tanpa menggunakan plat pengganggu. Sedangkan untuk meningkatkan torsi statis turbin *Savonius*, didapat pada sudut 0° dan bilangan *Reynolds* 90.000 dengan kenaikan sebesar 1,5 kali dibandingkan tanpa menggunakan plat pengganggu. Peningkatan *Coefficient of Power* turbin *Savonius* didapat pada sudut 40° dan bilangan *Reynolds* 60.000 dengan kenaikan mencapai 14,59 kali dibandingkan tanpa menggunakan plat pengganggu. Namun penelitian ini masih diragukan dikarenakan penelitian ini dilakukan menggunakan turbin *Savonius* yang diuji di dalam *wind tunnel* dengan *blockage area* 18 %. *Blockage ratio correction* yang dibutuhkan adalah bernilai kurang dari 10%. Sedangkan untuk pengujian di bidang *aeronautical* nilai yang dibutuhkan adalah kurang dari 5% (A Filippone et al, 1999). *Blockage ratio* pada percobaan turbin jenis VAWT sendiri telah diteliti oleh Sandia *Laboratories* bahwa pada percobaannya pada *wind tunnel* tersebut dan tanpa pengganggu, *blockage ratio* sangat berpengaruh dan penting untuk analisa performa dari jenis VAWT. Dimana, nilai *blockage ratio* yang diizinkan untuk mendapatkan nilai performa terbaik adalah kurang dari 16% pada *closed test-section low speed wind tunnel*.

Dalam penelitian ini akan dilakukan peningkatan performa turbin *Savonius* menggunakan plat pengganggu di depan *returning blade* turbin *Savonius* dengan menggunakan variasi sudut antara plat pengganggu dan bidang tegak lurus aliran udara dengan sudut plat pengganggu divariasikan antara $0-90^\circ$ dengan kenaikan 5° pada bilangan *Reynolds* 30.000, 60.000 dan 90.000.

1.2 Perumusan Masalah

Pada penelitian ini, pemasangan plat pengganggu divariasikan pada sudut tertentu. Variasi sudut ini bertujuan mengarahkan aliran dari fluida yang akan menabrak dinding plat penghambat *returning blade* ke arah *advancing blade*, sehingga diharapkan debit aliran fluida yang mengarah menuju *advancing blade* semakin tinggi dan selisih gaya *drag* dari turbin semakin meningkat.

Penelitian ini menggunakan turbin dua sudu dengan penambahan plat pengganggu dan bidang tegak lurus arah gerak aliran fluida. Hipotesa awal pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Peletakkan plat pengganggu di depan *returning blade* pada turbin angin *Savonius* dapat mengurangi gaya *drag* pada sisi *returning blade* sehingga selisih gaya *drag* antara kedua sudu akan semakin besar. Dengan semakin besarnya selisih gaya *drag*, torsi akan meningkat yang diikuti dengan peningkatan daya turbin angin *Savonius*.
2. Variasi sudut terhadap posisi plat pengganggu di depan *returning blade* akan menyebabkan aliran lebih banyak mengarah pada *advancing blade*. Hal ini akan menambah gaya *drag* pada posisi *advancing blade*. Selisih gaya *drag* antara *returning blade* dan *advancing blade* akan semakin besar hingga mencapai sudut optimum plat pengganggu. Di lain sisi, semakin besar sudut bukaan plat pengganggu yang melebihi sudut optimumnya, akan menyebabkan selisih gaya *drag* kedua sudu menurun. Hal ini karena timbulnya gaya *drag* pada *returning blade* oleh angin yang menerobos di sisi ujung plat pengganggu yang semakin membuka.

Untuk membuktikan hipotesa diatas maka dilakukan penelitian dengan menggunakan turbin angin tipe *Savonius* dengan diameter sudu (D) = 101,6 mm serta plat pengganggu berbentuk persegi panjang dengan nilai $L/D = 1$. Sudut dari plat pengganggu divariasikan 0° sampai 90° dengan kenaikan 5° serta bilangan *Reynolds* antara 30.000, 60.000, dan 90.000.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini agar hasil yang didapat sesuai dengan tujuan yang diharapkan adalah sebagai berikut :

1. Aliran udara pada sisi inlet diasumsikan *uniform, steady*, dan *incompressible*.
2. Perpindahan panas akibat gesekan antara benda uji dengan aliran fluida dapat diabaikan.
3. Penelitian dilakukan dengan menggunakan aliran satu arah.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui performa optimum turbin angin *Savonius* dengan penambahan plat pengganggu berukuran $L/D = 1$ dan variasi sudut $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ pada bilangan *Reynolds* 30.000, 60.000, dan 90.000 dengan cara :

1. Mengukur kecepatan putar turbin angin ketika diberi aliran udara dengan bilangan *Reynolds* 30.000, 60.000 dan 90.000.
2. Mengukur torsi statis turbin angin ketika diberi aliran udara dengan bilangan *Reynolds* 30.000, 60.000 dan 90.000
3. Mengukur torsi dinamis turbin angin ketika diberi aliran udara dengan bilangan *Reynolds* 30.000, 60.000 dan 90.000.
4. Menghitung *Coefficient of Power* dari turbin savonis ketika diberi aliran udara dengan bilangan *Reynolds* 30.000, 60.000 dan 90.000.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapatkan dari pemberian plat pengganggu di depan *returning blade* turbin *Savonius* ini diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Mampu menjelaskan pengaruh pemberian plat pengganggu terhadap nilai torsi, kecepatan putar dan *Coefficient of Power* turbin *Savonius*
2. Mampu menjelaskan pengaruh sudut antara plat pengganggu dan bidang tegak lurus aliran fluida terhadap nilai torsi, kecepatan putar dan *Coefficient of Power* turbin *Savonius*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

Angin adalah udara yang bergerak karena adanya perbedaan tekanan di permukaan bumi ini. Angin akan bergerak dari suatu daerah yang memiliki tekanan tinggi ke daerah yang memiliki tekanan yang lebih rendah. Angin yang bertiup di permukaan bumi ini terjadi akibat adanya perbedaan penerimaan radiasi surya, sehingga mengakibatkan perbedaan suhu udara. Adanya perbedaan suhu tersebut menyebabkan perbedaan tekanan, akhirnya menimbulkan gerakan udara. Perubahan panas antara siang dan malam merupakan gaya gerak utama sistem angin harian, karena beda panas yang kuat antara udara di atas darat dan laut atau antara udara di atas tanah tinggi (pegunungan) dan tanah rendah (lembah).

Proses pemanfaatan energi angin dilakukan melalui dua tahapan konversi energi, pertama aliran angin akan menggerakkan rotor (baling-baling atau turbin angin) yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin yang bertiup, kemudian kecepatan putar dari rotor dihubungkan dengan generator, dari generator inilah dihasilkan arus listrik. Jadi proses tahapan konversi energi bermula dari energi kinetik angin menjadi energi gerak rotor kemudian menjadi energi listrik. Besarnya energi listrik yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya adalah sebagai berikut :

1. Rotor (kincir), rotor turbin sangat bervariasi jenisnya, dimensi dan konfigurasi rotor akan berbanding lurus dengan daya listrik yang dihasilkan.
2. Kecepatan angin, kecepatan angin akan mempengaruhi kecepatan putar rotor yang akan menggerakkan generator.
3. Jenis generator, generator terbagi dalam beberapa karakteristik yang berbeda, generator yang cocok untuk Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) adalah generator yang dapat menghasilkan arus listrik pada kecepatan putar rendah.

Listrik yang dihasilkan dari SKEA akan bekerja optimal pada siang hari dimana angin berhembus cukup kencang dibandingkan dengan pada malam hari, sedangkan penggunaan listrik biasanya akan meningkat pada malam hari. Untuk mengantisipasinya sistem ini sebaiknya tidak langsung digunakan untuk keperluan produk-produk elektronik, namun terlebih dahulu disimpan dalam satu media seperti baterai atau aki sehingga listrik yang keluar besarnya stabil dan bisa digunakan kapan saja. Syarat dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan kincir angin dan jari-jari 1 meter dapat dilihat seperti pada Tabel 2.1 berikut.

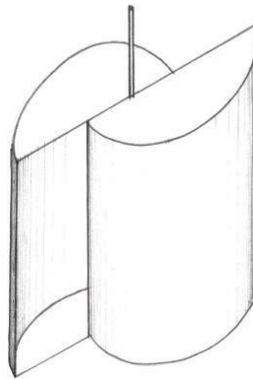
Tabel 2.1 Tingkatan kecepatan angin 10 meter permukaan tanah

Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di atas permukaan Tanah		
Kelas Angin	Kecepatan Angin m/d	Kondisi Alam di Daratan
1	0.00 ~ 0.02	
2	0.3 ~ 1.5	angin tenang, Asap lurus ke atas.
3	1.6 ~ 3.3	asap bergerak mengikuti arah angin
4	3.4 ~ 5.4	wajah terasa ada angin, daun2 bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5.5 ~ 7.9	debu jalan, kertas beterbangan, ranting pohon bergoyang.
6	8.0 ~ 10.7	ranting pohon bergoyang, bendera berkibar.
7	10.8 ~ 13.8	ranting pohon besar bergoyang, air plampung berombak kecil
8	13.9 ~ 17.1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa di telinga
9	17.2 ~ 20.7	dpt mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20.8 ~ 24.4	dpt mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24.5 ~ 28.4	dpt merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28.5 ~ 32.6	menimbulkan kerusakan parah
13	32.7 ~ 36.9	tornado

Klasifikasi angin pada kelompok 3 adalah batas minimum dan angin pada kelompok 8 adalah batas maksimum energi angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

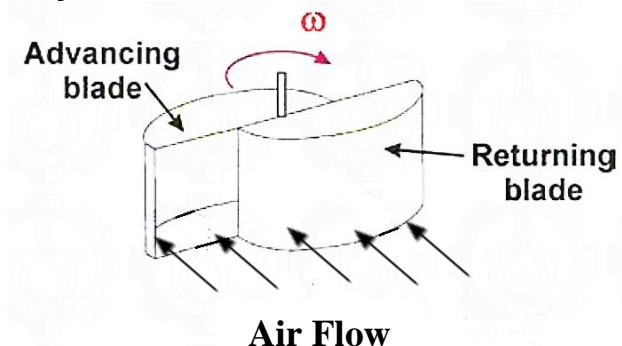
2.2 Turbin Angin Tipe *Savonius*

Sesuai dengan proses pemanfaatan energi angin dilakukan melalui dua tahapan konversi energi, rotor merupakan salah satu komponen penting dalam sistem konversi energi angin. Salah satu jenis rotor yang digunakan pada penelitian ini adalah turbin angin tipe *Savonius*, yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Turbin *Savonius*

Seorang ilmuwan yang bernama S.J. Savonius adalah penemu salah satu desain turbin angin pada tahun 1920an. Turbin angin penemuannya ini dinamakan turbin angin *Savonius*. Turbin angin *Savonius* ini mempunyai desain awal dari plat tabung yang dibelah menjadi dua kemudian disatukan sehingga membentuk huruf ‘S’ jika dilihat dari sisi atas atau bawah.



Gambar 2.2 Bagian-bagian dari Turbin *Savonius*

Turbin angin *Savonius* merupakan tipe turbin angin sumbu vertikal dengan dua sudu, yang mana salah satu sudu bertindak sebagai *advancing blade* dan satu sudu lagi bertindak sebagai *returning blade*. Dua sudu yang dimiliki turbin angin *Savonius*

yang ditunjukkan Gambar 2.2 memiliki fungsi sebagai penerima gaya dari angin, yaitu gaya *drag*. Dengan bentuk permukaan yang berbeda dari *advancing blade* dan *returning blade* dapat menimbulkan selisih gaya drag yang mengenai kedua sudu ini, yang mana gaya yang mengenai *advancing blade* lebih besar daripada *returning blade*. Hal tersebut yang menyebabkan turbin dapat berputar.

2.3 Gaya Drag

Drag adalah sebuah komponen gaya pada suatu benda yang bertindak sejajar dengan arah gerak relatif. Gaya *drag* merupakan gaya akibat reaksi dari permukaan benda (d) akibat aliran *viscous* fluida inkompresibel dengan kecepatan udara (U) yang menghasilkan tekanan dan gaya geser dengan arah sejajar horizontal aliran. Gaya *drag*, F_D , jika ditulis dalam bentuk persamaan simbolik adalah sebagai berikut :

$$F_D = C_D \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot U^2 \cdot A \quad (2.1)$$

Yang mana C_D adalah koefisien *drag* dan biasa dirumuskan dalam bentuk berikut :

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho \cdot U^2 \cdot A} \quad (2.2)$$

Dimana,

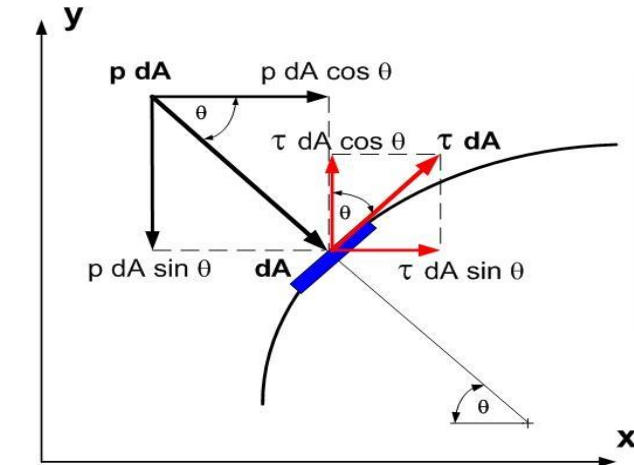
F_D	= gaya <i>Drag</i>
$\frac{1}{2} \rho \cdot U^2$	= tekanan dinamis aliran bebas
A	= luas permukaan benda

Gaya *drag* total merupakan penggabungan antara *friction drag* (F_{Df}) dan *pressure drag* (F_{Dp}). *Friction drag* adalah gaya *drag* yang diakibatkan oleh tegangan geser antara fluida dan permukaan benda, sedangkan *pressure drag* adalah gaya *drag* yang diakibatkan oleh tekanan fluida dengan tegak lurus terhadap

permukaan benda. Penguraian komponen gaya *drag* ditunjukkan Gambar 2.3.

$$F_D = F_{Dp} + F_{Df} \quad (2.3)$$

$$F_D = \int \cos \theta. (p.dA) + \int \sin \theta. (\tau.dA) \quad (2.4)$$



Gambar 2. 3 Penguraian komponen gaya *drag* terhadap permukaan benda

2.4 Perhitungan Daya dan *Coefficient of Power (CoP)*

Turbin angin *Savonius* dapat berputar karena konversi energi kinetik yang dimiliki oleh angin. Besarnya energi kinetik yang dimiliki oleh angin bergantung pada dua faktor, yaitu massa dan kecepatan. Hubungan antara massa dan kecepatan dapat dilihat pada persamaan 2.5 dibawah ini :

$$Ek = \frac{1}{2}. m. U^2 \quad (2.5)$$

Apabila luas permukaan pada turbin yang ditabrak oleh angin dirumuskan dengan persamaan

$$A = (2. D - b). H \quad (2.6)$$

dan volum angin yang mengalir per detik dapat dituliskan seperti persamaan di bawah ini

$$Q = A \cdot U \quad (2.7)$$

Maka, laju alir massa angin per satuan waktu dapat dituliskan dengan persamaan 2.8 dibawah ini.

$$\dot{m} = \rho \cdot Q \quad (2.8)$$

Dimana,

- E_k = energi kinetik (Joule)
- \dot{m} = laju alir massa angin (kg/s)
- U = kecepatan angin (m/s)
- ρ = densitas udara (kg/m³)
- Q = debit angin (m³/s)
- A = Luas Penampang Turbin (m²)
- D = diameter sudu turbin (m)
- H = tinggi turbin (m)

Sehingga didapatkan persamaan daya angin adalah sebagai berikut:

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot U \cdot U^2 \quad (2.9)$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot U^3 \quad (2.10)$$

Dimana,

- P_w = daya angin (watt)
- ρ = densitas udara (kg/m³)
- A = luas penampang turbin (m²)
- V = kecepatan udara (m/s)

Sedangkan daya aktual turbin yang keluar dari turbin dapat dihitung berdasarkan torsi dan kecepatan putar yang dihasilkan oleh turbin yang diukur menggunakan torsi meter dinamis dan

tachometer. Hubungan antara torsi, kecepatan putar dan daya dapat dituliskan pada persamaan 2.11 dibawah ini:

$$P_T = T \cdot \omega \quad (2.11)$$

Dimana,

P_T = daya pada turbin (watt)

T = Torsi dari turbin (Newton meter)

ω = Kecepatan putar dari turbin (rad/detik)

Besarnya torsi yang dihasilkan oleh turbin angin dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$T = F \cdot r \quad (2.12)$$

Dimana,

r = radius puli (m)

Gaya yang bekerja pada poros turbin dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$F = |m - s| \cdot g \quad (2.13)$$

Dimana,

m = massa pemberat (kg)

s = massa pegas yang terbaca (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Kecepatan putar turbin angin *Savonius* dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (2.14)$$

Dimana,

n = kecepatan putar turbin (rpm)

Sehingga :

$$P_T = \frac{|m - s|.g.r.\pi.n}{30}$$

Sebuah sistem pasti memiliki kerugian yang mengurangi besarnya energi input, sehingga efisiensi dari sistem tersebut tidak mungkin mencapai 1. *Coefficient of Power (CoP)* adalah nilai yang menunjukkan efisiensi turbin. *CoP* merupakan suatu perbandingan antara daya yang dihasilkan secara mekanik pada sudu oleh turbin angin terhadap daya yang dihasilkan oleh aliran udara. Persamaan *CoP* dapat ditulis sebagai berikut.

$$CoP = \frac{P_T}{P_w}$$

$$CoP = \frac{\frac{|m-s|.g.r.\pi.n}{30}}{\frac{1}{2}.\rho.A.U^3}$$

$$CoP = \frac{|m-s|.g.r.\pi.n}{15.\rho.A.U^3} \quad (2.15)$$

2.5 Bilangan Reynolds

Bilangan *Reynolds* adalah bilangan tidak berdimensi yang digunakan untuk menentukan suatu aliran sebagai aliran *laminar* atau *turbulent* pada aliran *incompressible*. Bilangan *Reynolds* atau yang biasa disebut *Re* juga mempengaruhi *boundary layer* dari aliran yang melalui suatu benda, dimana *boundary layer* adalah lapis batas pemisah antara daerah yang terpengaruh gaya *viscous* dan gaya inersia. Pengaruh bilangan *Reynolds* pada lapis batas ditunjukkan oleh persamaan yang menunjukkan rasio dari gaya *viscous* dengan gaya inersia.

$$Re = \frac{GayaInersia}{GayaViscous} \quad (2.16)$$

Dimana,

$$GayaInersia = p \times A = \rho \cdot U^2 L^2 \quad (2.17)$$

$$GayaViscous = \tau \times A = \left(\frac{\mu \cdot U}{L}\right) \cdot L^2 \quad (2.18)$$

Sehingga,

$$Re = \frac{\rho \cdot U^2 L^2}{\left(\frac{\mu \cdot U}{L}\right) \cdot L^2} \quad (2.19)$$

Dimana L adalah panjang karakteristik yang dalam hal ini $L = 2D - b$, sehingga :

$$Re = \frac{\rho \cdot U (2D - b)}{\mu} \quad (2.20)$$

Dimana,

- ρ = densitas Udara
- b = *overlap* poros
- U = kecepatan udara
- D = diameter sudu turbin
- μ = viskositas dinamis fluida

2.6 Tip Speed Ratio (TSR)

Tip Speed Ratio (TSR) merupakan perbandingan antara kecepatan putar turbin terhadap kecepatan *free stream* udara yang menabrak sudu turbin. *TSR* dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{U} \quad (2.21)$$

Dimana,

- λ = *Tip Speed Ratio*
- ω = kecepatan sudut turbin (rad/s)
- R = jari-jari kecepatan putar turbin (m)
- U = kecepatan *free stream* udara (m/s)

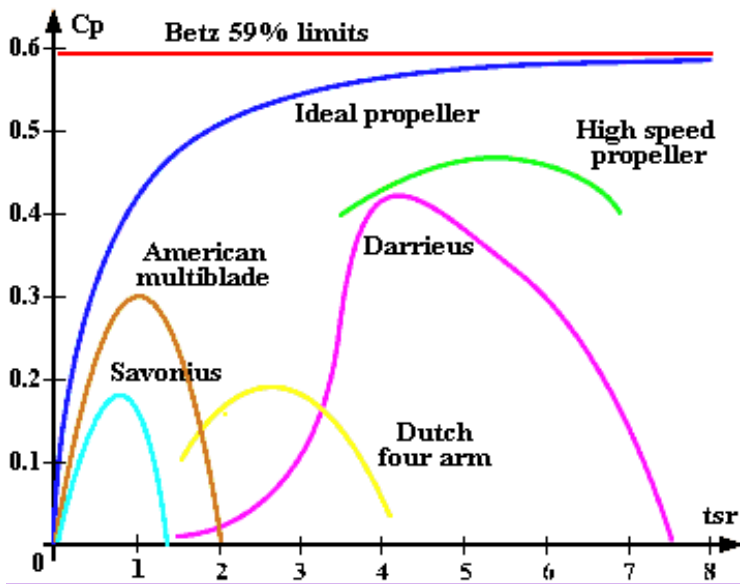
Selain menggunakan persamaan 2.21, *TSR* juga dapat diperoleh dari persamaan:

$$\lambda = \frac{\text{blade tip speed}}{U_w} \quad (2.22)$$

Blade tip speed merupakan kecepatan ujung *blade* atau rotor, dimana :

$$\text{Blade tip speed} = \frac{\text{rotational speed (rpm)} \times \pi \times D}{60} \quad (2.23)$$

Setiap tipe turbin angin memiliki karakteristik yang berbeda-beda, maka faktor daya sebagai fungsi dari *TSR* juga berbeda sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.4 berikut:



Gambar 2.4 Grafik Hubungan antara Koefisien Daya dan *Tip Speed Ratio* (Al-Shemmeri,2010)

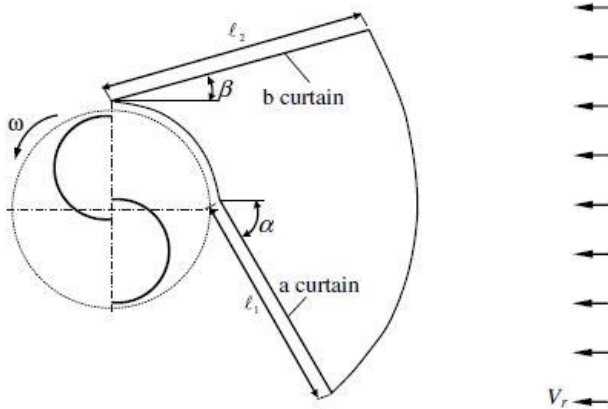
2.7 Penelitian Terdahulu

Dalam suatu penelitian, studi referensi pada penelitian-penelitian sebelumnya yang berhubungan dibutuhkan untuk menunjang penelitian yang akan dilakukan. Penelitian-penelitian

yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti antara lain mengenai peningkatan performa dan penempatan pengganggu pada turbin angin *Savonius*.

2.7.1 Pemberian Plat Pengganggu dan Pengarah pada Turbin *Savonius*

Penelitian yang dilakukan **Altan & Atilgan (2008)** menganalisis secara eksperimental tentang pengaruh susunan *curtain plate* yang menempatkan dua buah plat di depan turbin dengan variasi sudut satu plat menghalangi *returning blade* (α) dan satu yang lain di posisi tepi luar *advancing blade* (β). Dengan diameter turbin $D = 32$ cm dan tinggi turbin $H = 32$ cm. Plat dengan tebal 4 mm diletakkan di depan turbin dengan sudut θ dan β terhadap arah datangnya aliran udara dan disusun seperti pada Gambar 2.5.



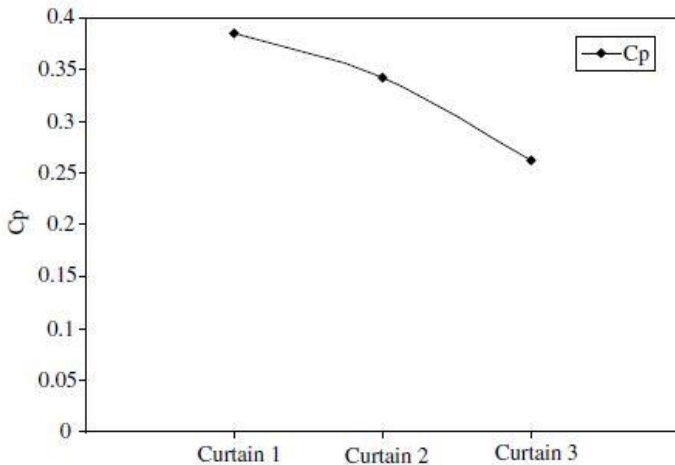
Gambar 2.5 Susunan turbin *Savonius* dan plat pengganggu (Altan & Atilgan, 2008)

Eksperimen dilakukan pada kecepatan angin 7 m/s dan bilangan *Reynolds* $1,5 \times 10^5$. Variasi susunan panjang plat pengganggu dengan sudut plat pengganggu ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Variasi panjang dari plat penganggu dan pengaruh (Altan & Atilgan, 2008)

Type of curtain arrangement	Distance ℓ_1 (cm)	Distance ℓ_2 (cm)
Curtain 1	45	52
Curtain 2	34	39
Curtain 3	22	26

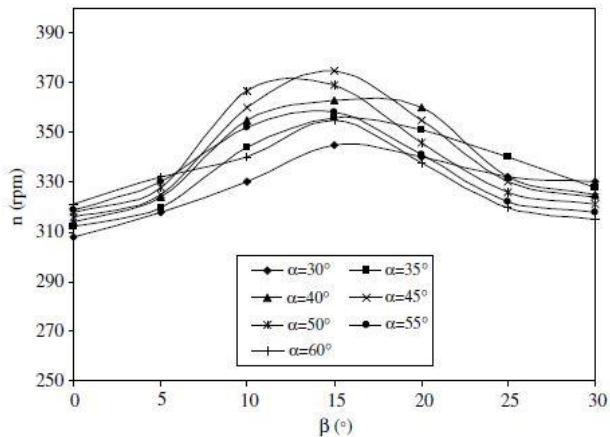
Dari penelitian tersebut didapatkan nilai *Coefficient of Power* pada variasi 1 sebesar 0,38533, pada variasi 2 sebesar 0,34154 dan pada variasi 3 sebesar 0,26273. Atau dapat dilihat pada Gambar 2.6 dibawah ini :



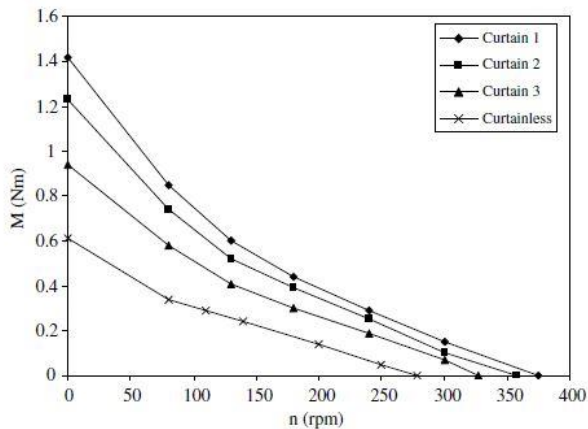
Gambar 2.6 Grafik pengaruh penambahan plat penganggu terhadap nilai *Coefficient of Power* (Altan & Atilgan, 2008)

Selain itu penambahan plat penganggu dan pengaruh juga berpengaruh terhadap kecepatan putar turbin rotor *Savonius*. Hasil pengukuran kecepatan putar rotor turbin dapat dilihat pada **Gambar 2.7**. Penambahan plat pengganggu juga berpengaruh terhadap nilai torsi yang dihasilkan oleh rotor turbin *Savonius*.

Pengaruh nilai torsi yang dihasilkan terhadap kecepatan putar dan penambahan plat pengganggu dapat dilihat pada **Gambar 2.8**.



Gambar 2.7 Grafik pengaruh kecepatan putar turbin terhadap sudut plat pengganggu 1 (Altan & Atilgan, 2008)



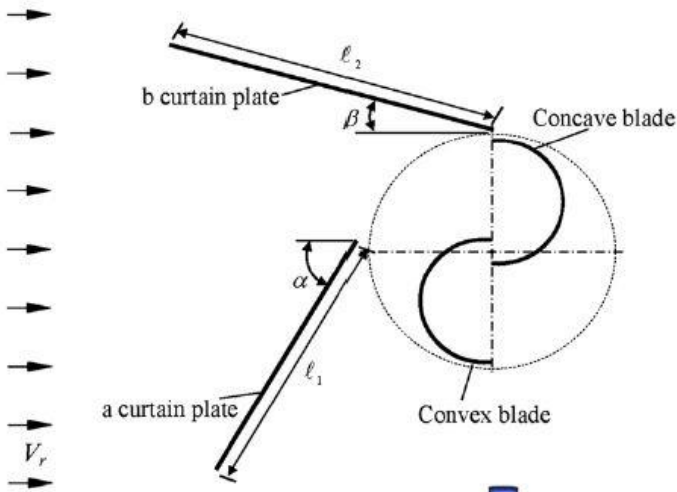
Gambar 2.8 Grafik pengaruh torsi yang dihasilkan terhadap kecepatan putar turbin (Altan & Atilgan, 2008)

Dari grafik-grafik diatas didapatkan hasil penelitian yang telah dilakukan yaitu bahwa *Coefficient of Power* dari turbin *Savonius* meningkat hingga 38,5% dengan penambahan plat

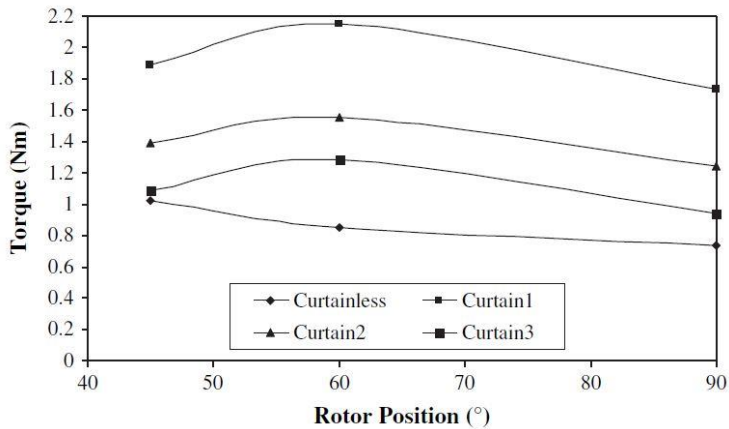
pengganggu dengan panjang l_1 sebesar 45cm dan l_2 sebesar 52 cm dengan sudut pengganggu $\theta = 45^\circ$ dan $\beta = 15^\circ$.

2.7.1 Desain Baru Susunan Pengganggu dan Pengarah pada Turbin Savonius

Penelitian selanjutnya yang dilakukan **Altan & Atilgan (2009)** hampir sama dengan yang dilakukan pada tahun 2009. Perbedaan dalam penelitian kali ini terdapat pada analisis posisi *advancing blade* dan *returning blade* (θ) pada saat turbin berputar dan analisa yang dilakukan melalui numerik dan eksperimental, serta desain susunan pengganggu baru. Susunan plat pengganggu dan turbin ditunjukkan pada Gambar 2.9.

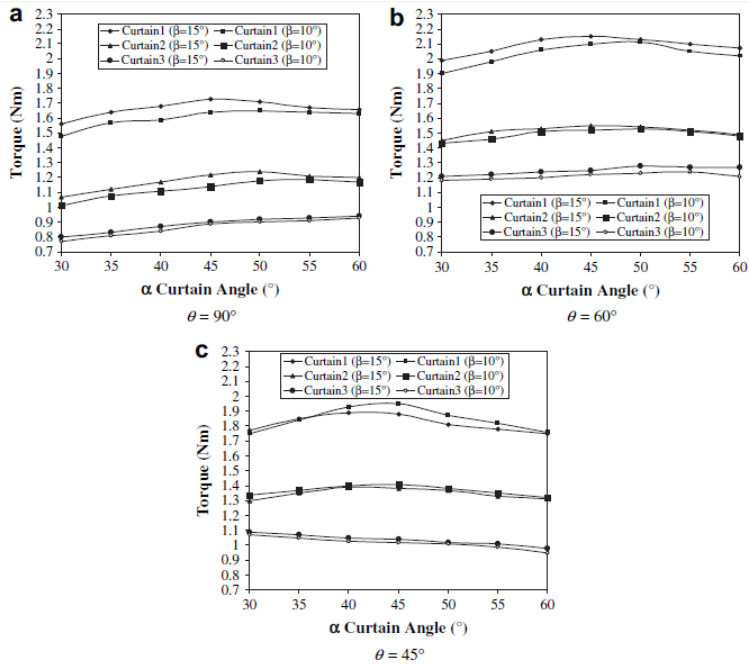


Gambar 2.9 Susunan plat pengganggu baru (Altan & Atilgan, 2009)



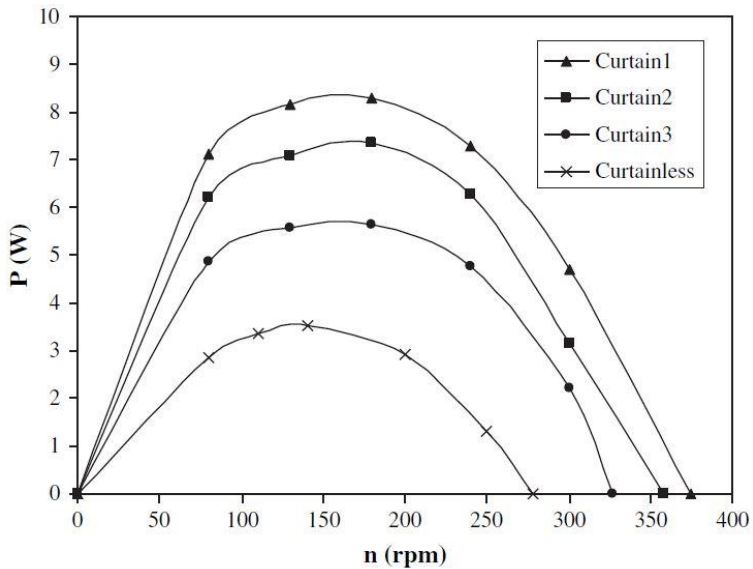
Gambar 2.10 Perbandingan nilai torsi statis maksimum antara turbin tanpa pengganggu dengan berpengganggu (curtain1, curtain2, curtain3) variasi sudut turbin 45°, 60°, dan 90° (Altan & Atilgan, 2009)

Eksperimen dilakukan pada kecepatan angin 7 m/s dan bilangan *Reynolds* $1,5 \times 10^5$. Variasi sudut θ adalah 45°, 60°, dan 90°. Ketika turbin tanpa pengganggu dan posisi sudut θ adalah 45°, 60°, dan 90°, torsi statis dapat diketahui pada **Gambar 2.10**. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa posisi sudut $\theta = 60^\circ$ menunjukkan torsi statis paling tinggi. Selanjutnya dilakukan simulasi dengan *software Fluent 6.0* untuk mengetahui torsi yang dihasilkan dari masing-masing variasi. Hasil dari simulasi dapat dilihat pada Gambar 2.11.



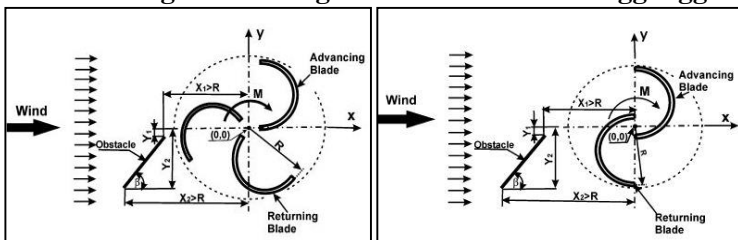
Gambar 2.11 Perubahan torsi berdasarkan sudut pengganggu untuk $\beta = 10^\circ$ and $\beta = 15^\circ$ ketika posisi $\theta = 45^\circ$, 60° , dan 90° (Altan & Atilgan, 2009)

Hasil maksimal dari posisi sudut θ turbin dapat menghasilkan daya hingga 8 W dengan susunan $\alpha = 45^\circ$ dan $\beta = 15^\circ$ dan $\theta = 60^\circ$. Dapat ditunjukkan pada Gambar 2.12 di bawah ini.



Gambar 2.12 Pengaruh susunan pengganggu terhadap daya turbin untuk $\alpha = 45^\circ$ dan $\beta = 15^\circ$ (Altan & Atilgan, 2009)

2.7.2 Membandingkan Performa Turbin *Savonius* Dua Sudu dan Tiga Sudu dengan Pemberian Plat Pengganggu

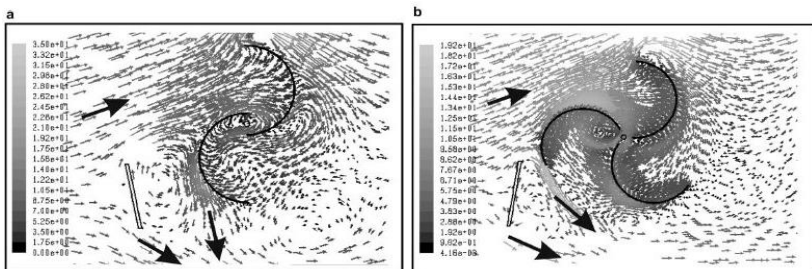


Gambar 2.13 Skema susunan plat pengganggu pada turbin *Savonius* dua sudu dan tiga sudu (Mohamed et al, 2010)

M.H. Mohamed et al (2010) melakukan penelitian untuk meningkatkan daya yang dikeluarkan turbin angin *Savonius*

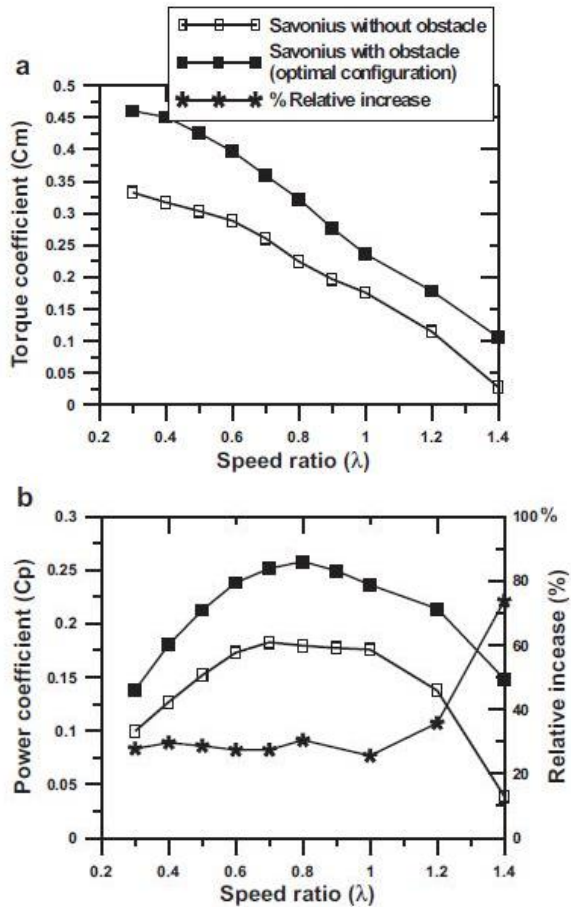
dengan desain turbin menggunakan dua sudu dan tiga sudu dengan simulasi pada *software ANSYS-FLUENT*. Eksperimen dilakukan dengan menempatkan plat pengganggu dengan variasi sudut tertentu (β) di depan *returning blade* dan *speed ratio* (λ). Kecepatan angin 10 m/s. Posisi plat pengganggu dan turbin *Savonius* diletakkan seperti pada Gambar 2.13 diatas.

Hasil dari simulasi didapatkan bahwa jumlah sudu berpengaruh terhadap kemampuan *self starting* yang dimiliki oleh turbin *Savonius*. Aliran fluida pada turbin *Savonius* berdasarkan simulasi pada saat melakukan *self starting* dapat dilihat pada Gambar 2.14.

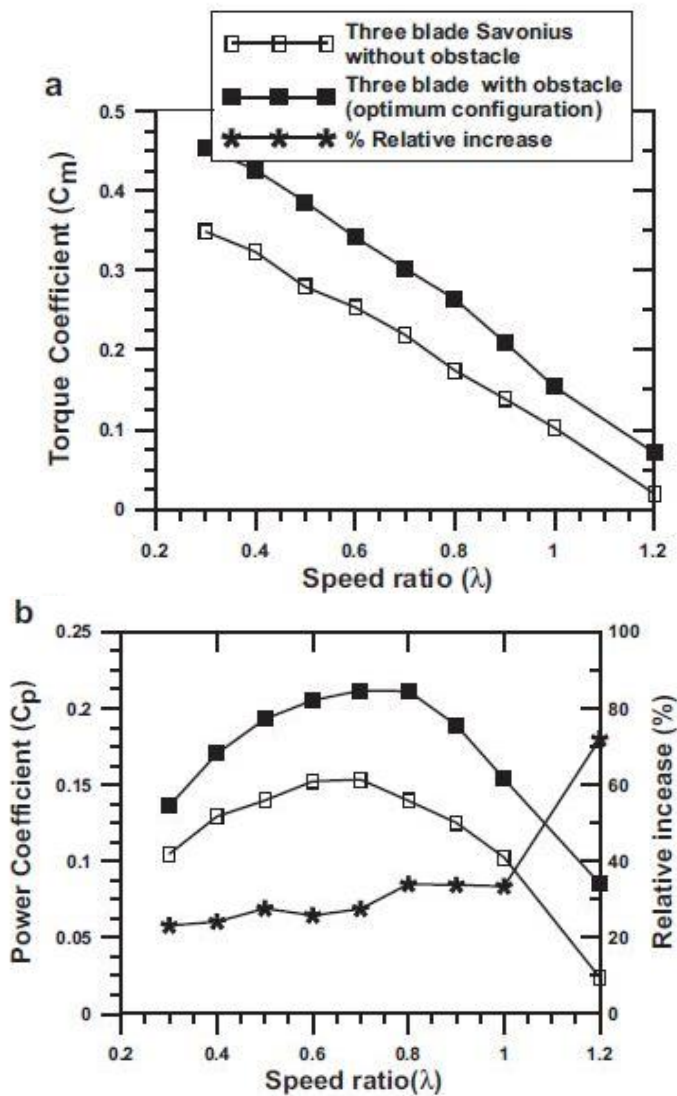


Gambar 2. 14 Perbandingan struktur aliran pada saat *self starting* dengan *speed ratio* (λ) = 0,7; a = turbin dua sudu; b = turbin tiga sudu (Mohamed et al, 2010)

Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa turbin dengan dua sudu memiliki kemampuan *self starting* yang lebih baik daripada turbin dua sudu. Selain pada kemampuan *self starting*, penambahan plat pengganggu juga berpengaruh terhadap nilai koefisien torsi dan koefisien daya dari kedua turbin tersebut. Grafik nilai koefisien torsi dan daya dapat dilihat pada Gambar 2.15.

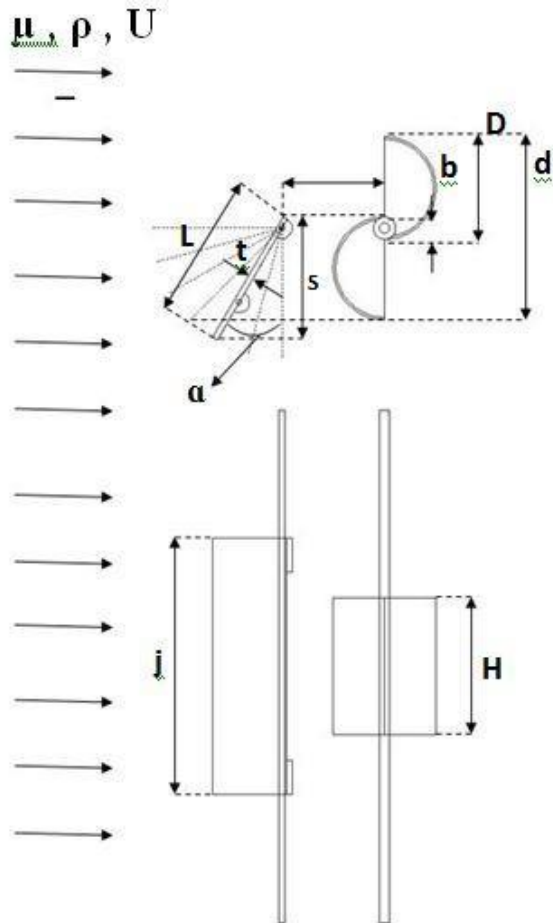


Gambar 2.15 Grafik performa turbin *Savonius* dengan dua sudu sebelum dan setelah diberi plat pengganggu (Mohamed et al, 2010)

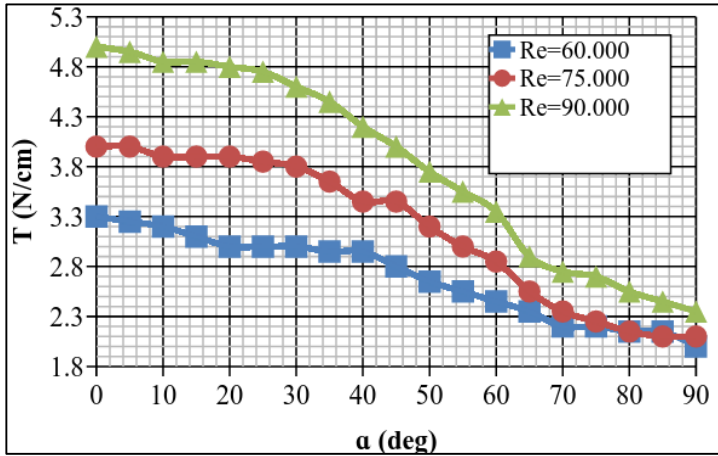


Gambar 2.16 Grafik performa turbin *Savonius* tiga sudu sebelum dan setelah diberi plat penganggu (Mohamed et al, 2010)

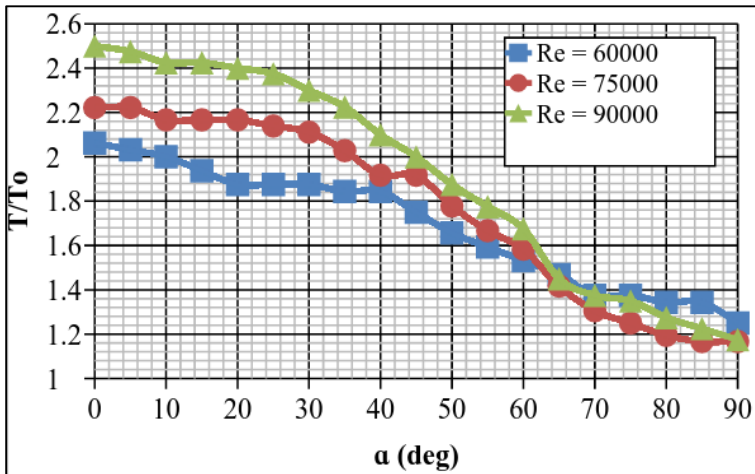
2.7.3 Studi Eksperimen Pengaruh Sudut Plat Pengganggu di Depan *Returning Blade* Turbin Angin Tipe *Savonius* Terhadap Performa Turbin



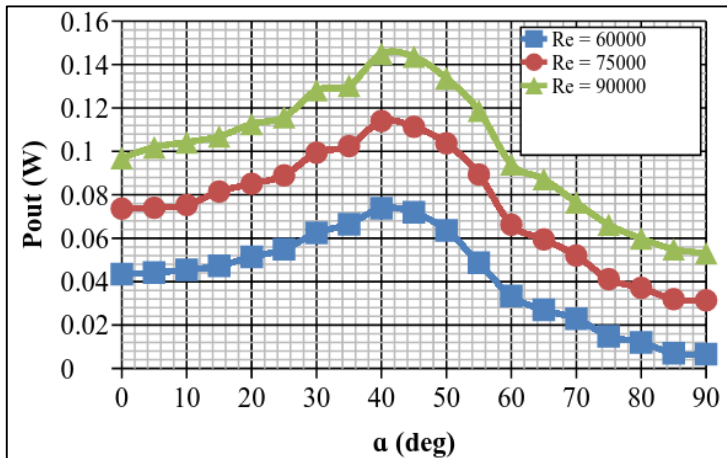
Gambar 2.17 Skema Penelitian (Yoga 2016)



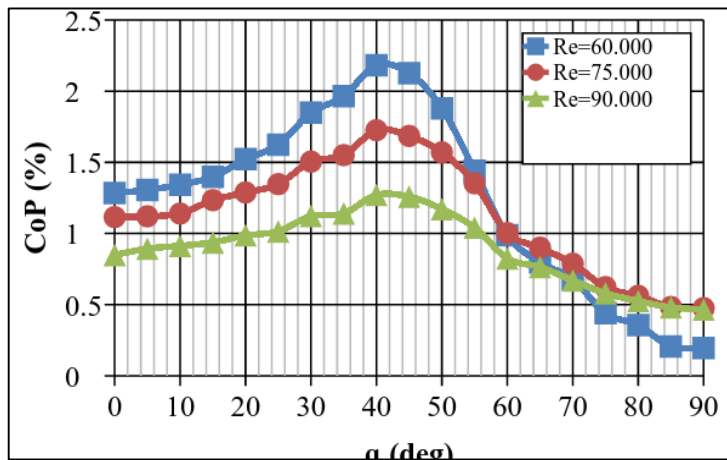
Gambar 2.18 Grafik nilai torsi statis yang dihasilkan turbin *Savonius* sebagai fungsi sudut plat pengganggu (Yoga 2016)



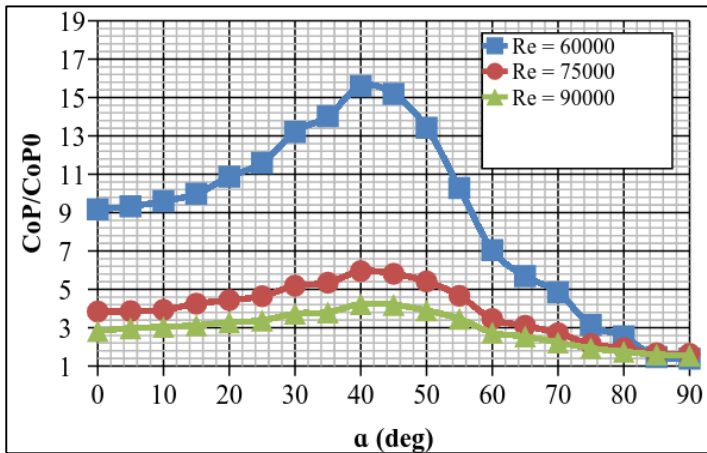
Gambar 2.19 Grafik nilai peningkatan torsi statis yang dihasilkan turbin *Savonius* sebagai fungsi sudut plat pengganggu (Yoga 2016)



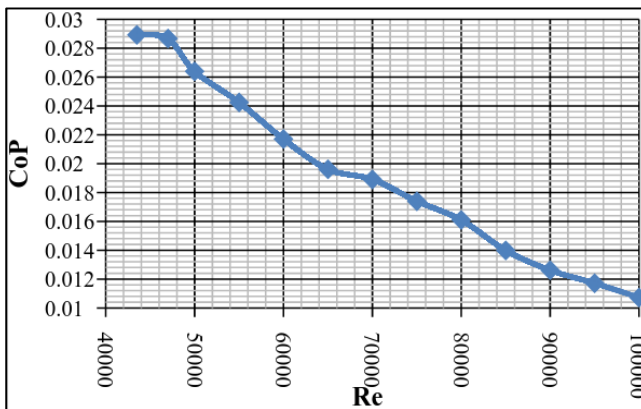
Gambar 2.20 Grafik nilai daya *output* yang dihasilkan turbin *Savonius* sebagai fungsi sudut plat pengganggu (Yoga 2016)



Gambar 2.21 Grafik nilai *Coefficient of Power* yang dihasilkan turbin *Savonius* sebagai fungsi sudut plat pengganggu (Yoga 2016)



Gambar 2.22 Grafik peningkatan nilai *Coefficient of Power* yang dihasilkan turbin *Savonius* sebagai fungsi sudut plat pengganggu (Yoga 2016)



Gambar 2.23 Grafik nilai *Coefficient of Power* yang dihasilkan (Yoga 2016)

Untuk meningkatkan performa turbin *Savonius* dengan diameter (D) sebesar 60 mm dan tinggi (H) sebesar 80 mm, sebuah plat dengan tebal 3 mm dan lebar 84,9 mm digunakan sebagai pengganggu yang diletakkan didepan *returning blade*

turbin. Pengganggu tersebut diletakkan dengan pada sudut $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$. Penelitian ini dilakukan pada *subsonic open circuit wind tunnel*. Alat ini memiliki panjang 2980 mm, dengan *test section* 304 mm x 304 mm. Kecepatan *free stream* pada *wind tunnel* diatur sebesar 8,752 m/s, 10,94 m/s, 13,128 m/s, sesuai dengan bilangan *Reynolds* = $6,0 \times 10^4$; $7,5 \times 10^4$; $9,0 \times 10^4$ (berdasarkan panjang karakteristik $d = 2D-b$, dimana b adalah lebar diameter *overlap* dari kedua sudu turbin), dan kecepatan *free stream* udara. Kecepatan aliran udara diukur menggunakan *static pitot tube* yang dihubungkan dengan *inclined manometer*. Kecepatan putar turbin *Savonius* diukur menggunakan *tachometer*. Torsi statis diukur menggunakan torsi meter digital dan daya *output* dihasilkan dari pengukuran tegangan dan arus listrik yang dihasilkan generator yang dihubungkan dengan poros turbin.

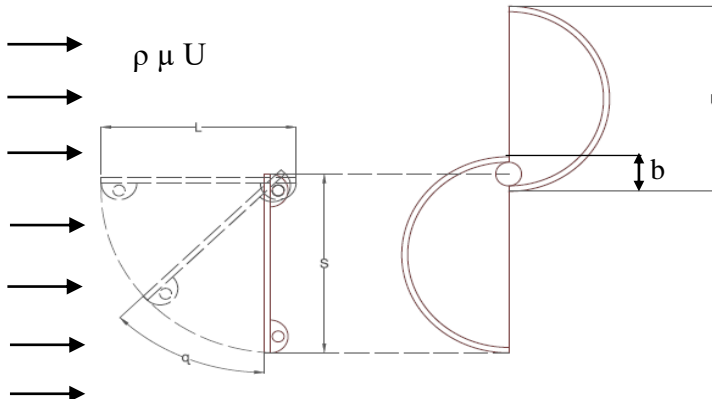
Untuk $Re = 60.000$, penggunaan plat dengan lebar $L/D = 1,4144$ pada posisi $\theta = 40^\circ$ sebagai pengganggu di depan turbin *Savonius*, terbukti paling efektif untuk meningkatkan performa turbin *Savonius*. Pada gambar 2.19 didapatkan peningkatan nilai torsi statis turbin 2,5 kali lebih tinggi dibanding tanpa penambahan plat pengganggu pada bilangan *Reynolds* 90.000. Pada gambar 2.22, peningkatan juga terjadi pada nilai *Coefficient of Power* menjadi 15,2 kali lebih tinggi dibanding tanpa plat pengganggu pada nilai $\theta = 40^\circ$ dan bilangan *Reynolds* 60.000. Sedangkan, untuk nilai daya yang dihasilkan memiliki hasil maksimum sebesar 0,14 watt seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.20 pada bilangan *Reynolds* 60.000. Sebagian besar performa turbin angin memiliki nilai maksimum pada bilangan *Reynolds* 60.000. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.23, bahwa dari nilai *Coefficient of Power* dari turbin memiliki nilai maksimum pada bilangan *Reynolds* 45.000, dan pada penelitian ini, variasi bilangan *Reynolds* 60.000 menunjukkan performa turbin paling maksimal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Analisa Dimensi

Pada penelitian yang akan dilakukan ini, diperlukan analisa dimensi untuk mengetahui parameter-parameter yang berpengaruh terhadap karakteristik aliran fluida pada penelitian ini adalah densitas udara (ρ), viskositas fluida (μ), *free stream* (U), diameter sudu turbin *Savonius* (D), lebar plat pengganggu (L), tinggi turbin *Savonius* (H), diameter *overlap* (b) dan sudut plat pengganggu (θ). Skema penelitian dan parameter-parameter pengujian dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema Penelitian (pandangan atas)

Dari skema penelitian diatas, didapatkan bahwa :

- ρ = densitas udara (N/m^2)
- μ = viskositas udara (Ns/m^2)
- U = kecepatan aliran udara (m/s)
- D = diameter sudu turbin *Savonius* (m)
- S = proyeksi lebar plat pada turbin *Savonius* (m)
- L = lebar plat pengganggu (m)
- θ = sudut plat pengganggu ($^\circ$)
- b = diameter *overlap* (m)
- H = tinggi turbin (m)

4. Memilih parameter berulang yang jumlahnya (m) sama dengan jumlah dimensi primer (r) yang digunakan yaitu: ρ, U, D . Jumlah parameter berulang (m) = $r = 3$.
5. Menentukan grup tanpa dimensi yang akan dihasilkan. Jumlah grup tanpa dimensi yang akan dihasilkan = $n - m = 9 - 3 = 6$ grup tanpa dimensi.

$$i. \quad \pi_1 = \rho^a U^b D^c P = \left(\frac{M}{L^3}\right)^a \left(\frac{L}{t}\right)^b (L)^c \left(\frac{ML^2}{t^3}\right) = (M^0 L^0 t^0)$$

Dimana,

$$M : a + 1 = 0$$

$$L : -3a + b + c + 2 = 0$$

$$t : -b - 3 = 0$$

diperoleh :

$$a = -1 ; b = -3 ; c = -2$$

sehingga :

$$\pi_1 = \rho^{-1} U^{-3} D^{-2} P$$

atau

$$\pi_1 = \frac{P}{\rho U^3 D^2}$$

- ii. Dengan cara yang sama diperoleh :

$$\pi_2 = \frac{\mu}{\rho U D}$$

$$\pi_3 = \frac{L}{D}$$

$$\pi_4 = \frac{S}{D}$$

$$\pi_5 = \frac{H}{D}$$

$$\pi_6 = \frac{b}{D}$$

$$\pi_7 = \frac{nD}{U}$$

6. Mengecek grup tanpa dimensi yang dihasilkan dengan menggunakan dimensi primer yang lain (F, L, t).

$$\pi_1 = \frac{P}{\rho U^3 D^2} = \frac{F L}{t} \frac{L^4}{F t^2} \frac{t^3}{L^3} \frac{1}{L^2} = 1$$

$$\pi_2 = \frac{\mu}{\rho U D} = \frac{F t}{L^2} \frac{L^4}{F t^2} \frac{t}{L} \frac{1}{L} = 1$$

$$\pi_3 = \frac{L}{D} = L \frac{1}{L} = 1$$

$$\pi_4 = \frac{S}{D} = L \frac{1}{L} = 1$$

$$\pi_5 = \frac{H}{D} = L \frac{1}{L} = 1$$

$$\pi_6 = \frac{b}{D} = L \frac{1}{L} = 1$$

$$\pi_7 = \frac{nD}{U} = \frac{L t}{t L} = 1$$

Dari analisa dimensi diatas diperoleh grup tak berdimensi sebagai berikut :

π_1 = *Coefficient of Power*

π_2 = bilangan *Reynolds*

π_3 = ratio lebar plat pengganggu dengan diameter sudu turbin *Savonius*

π_4 = ratio lebar proyeksi plat pada turbin *Savonius* dengan diameter sudu turbin *Savonius*

π_5 = ratio tinggi turbin *Savonius* dengan diameter sudu turbin *Savonius*

π_6 = ratio diameter *overlap* turbin *Savonius* dengan diameter

sudu turbin *Savonius*

π_7 = *Tip Speed Ratio*

Hubungan antara grup tak berdimensi sebagai berikut :

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7)$$

$$\frac{P}{\rho U^3 D^2} = f_1\left(\frac{\mu}{\rho U D}, \frac{L}{D}, \frac{S}{D}, \frac{H}{D}, \frac{b}{D}, \frac{nD}{U}\right)$$

Pada penelitian ini $\frac{L}{D}, \frac{H}{D}, \frac{b}{D}$ sebagai variabel tetap, sedangkan $\frac{\mu}{\rho U D}, \frac{nD}{U}$ dan $\frac{S}{D}$ divariasikan agar dapat mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap *Coefficient of Power* pada turbin angin sehingga :

$$\frac{P}{\rho U^3 D^2} = f_2\left(\frac{\mu}{\rho U D}, \frac{S}{D}, \frac{nD}{U}\right)$$

dimana nilai $S = L \cdot \cos \theta$ dengan nilai L yang tetap dan $d = 2D - b$ dengan b tetap maka didapatkan :

$$C_{op} = f_3(Re, \theta, TSR)$$

3.2 Peralatan

Penelitian yang akan dilakukan membutuhkan beberapa peralatan penunjang untuk mendapatkan hasil penelitian yang baik. Untuk itu beberapa peralatan yang akan menunjang pengambilan data eksperimen adalah :

3.2.1 Axial Fan

Pada penelitian ini menggunakan *axial fan* untuk menghasilkan kecepatan angin yang akan digunakan dalam pengujian performa turbin angin *Savonius*. *Axial fan* yang digunakan yaitu CKE SPV-18. Untuk Spesifikasi yang lebih detail dapat dilihat pada Tabel 3.1.

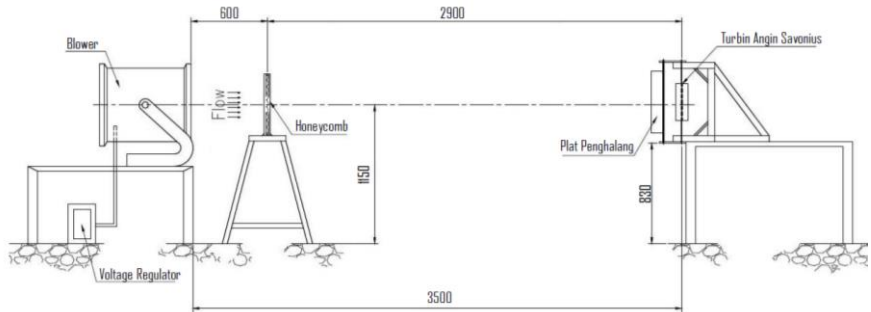


Gambar 3.2 *Axial fan CKE SPV-18*

Tabel 3.1 Spesifikasi *Axial fan CKE SPV-18*

Spesifikasi	
Diameter	18 inch / 450 mm
Speed	2850 RPM
Air Flow	4413 CFM
Power	1700 Watt
ST Press	520 Pa
Phase	1
Voltage	220 – 240 V

Skema penelitian yang dilakukan adalah dengan meletakkan *axial fan* sejauh 3,5 meter di depan turbin angin *Savonius*, yang dapat dilihat pada gambar 3.3.



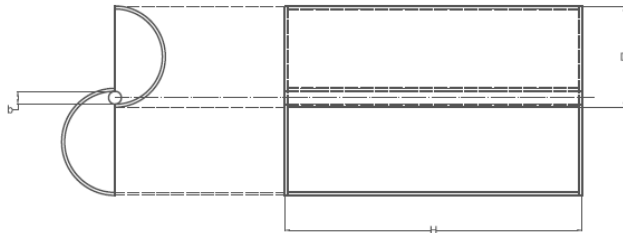
Gambar 3.3 Skema penelitian dan dimensi alat

3.2.2 Benda Uji

Pada penelitian ini, sebagai benda kerja digunakan turbin angin tipe *Savonius* dengan pengganggu berupa plat.

a. Profil turbin angin tipe *Savonius* sebagai berikut :

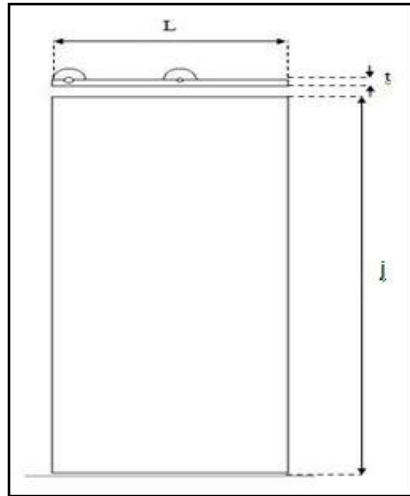
- Diameter sudu turbin (D) : 101,6 mm
- Tinggi (H) : 300 mm
- Diameter turbin (2D-b) : 190,2 mm
- *Overlap* diameter (b) : 13 mm



Gambar 3.4 Skema Turbin Angin *Savonius*

b. Profil plat pengganggu sebagai berikut

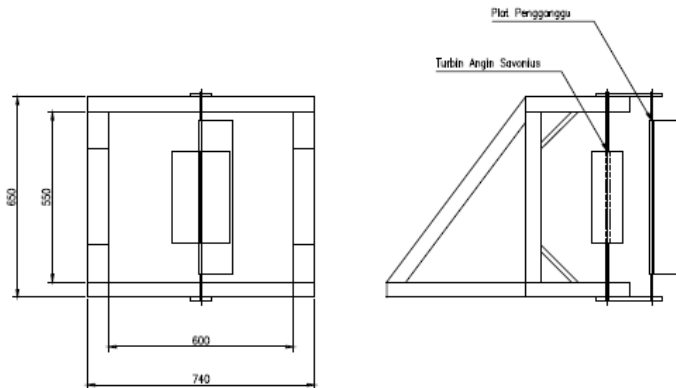
- Lebar : 101,6 mm
- Sudut (θ) : $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$
- Tinggi (j) : 300 mm
- Tebal (t) : 3 mm



Gambar 3.5 Plat sebagai Pengganggu

3.2.3 Penyangga Turbin Angin *Savonius*

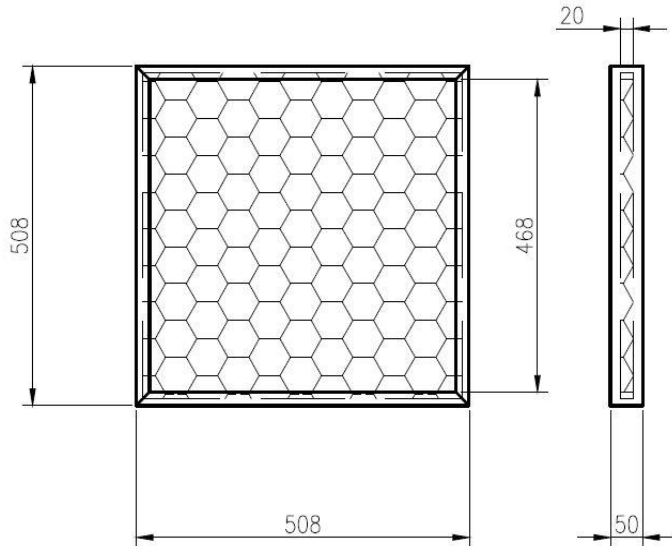
Pada penelitian digunakan sebuah penyangga yang digunakan sebagai tempat peletakkan turbin angin *Savonius* dan juga plat pengganggu. Berikut skema dari penyangga turbin angin *Savonius*:



Gambar 3.6 Penyangga turbin angin *Savonius*

3.2.4 Honeycomb

Honeycomb di sini digunakan sebagai media untuk mengkondisikan aliran fluida dari *axial fan* seperti pada gambar 3.7. *Mesh ratio* dari *honeycomb* sendiri adalah 16 lubang / in².



Gambar 3.7 *Honeycomb*

3.2.5 Alat Ukur

Pada penelitian ini digunakan beberapa alat ukur untuk mengukur performa dari turbin angin *Savonius*.

3.2.5.1 Tachometer

Tachometer ini merupakan alat ukur digital yang digunakan untuk mengukur kecepatan putar dari sebuah objek. *Tachometer* yang digunakan, dapat dilihat pada gambar 3.8, pada penelitian ini yaitu *Economical Non-Contact Pocket Optical Tachometer* OMEGA seri HHT12 dengan akurasi pembacaan 0,01% atau ± 1 digit dengan *range* pengukuran antara 5 hingga 99,999 rpm. Untuk Spesifikasi yang lebih detail dapat dilihat pada Tabel 3.2.



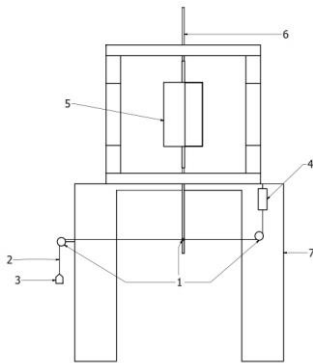
Gambar 3.8 Tachometer OMEGA seri HHT12

Tabel 3.2 Spesifikasi Tachometer OMEGA seri HHT12

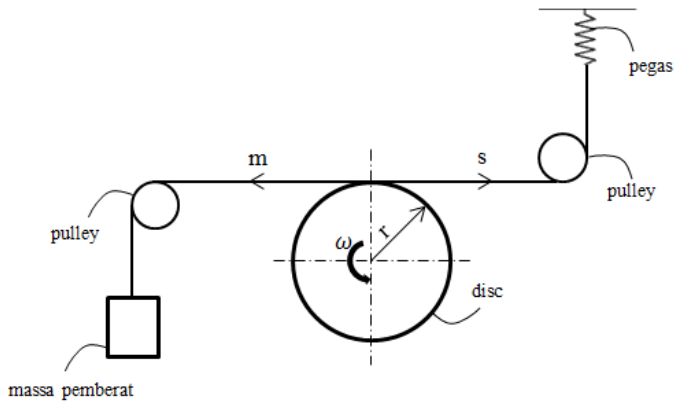
SPESIFIKASI	
Range	5 to 99,999 rpm
Accuracy	0,01 % of reading or ± 1 digit
Resolution	0,001 to 1,0 rpm
Display	5-digit alphanumeric LCD
Memory	Max, min and last
Power	2 "AA" 1,5 V dc batteries
Environmental	5° to 40° C

3.2.5.2 Brake Dynamometer

Brake dynamometer merupakan alat ukur digital yang berfungsi untuk mengukur torsi yang dihasilkan oleh kecepatan putar suatu objek. *Brake dynamometer* yang digunakan, dapat dilihat pada gambar 3.9.



(a) Skema desain awal

(b) Foto dari skema *brake dynamometer*(c) *Free body diagram pulley brake dynamometer*
(pandangan atas)**Gambar 3.9** Skema pengukuran *brake dynamometer*

Keterangan:

1. Sistem puli
2. Benang Nilon
3. Massa pemberat
4. Pegas
5. Turbin angin *Savonius*

6. Poros turbin angin *Savonius*
 7. Struktur Penyanggah turbin angin *Savonius*
- m = Massa pemberat
 s = Massa dari neraca pegas
 r = Jari – jari *disk*

Pengukuran yang dilakukan adalah dengan skema yang terdiri dari sistem puli, massa pemberat dan pegas yang dihubungkan oleh benang nilon dengan merk Optimum yang menyelubungi dari poros turbin angin *Savonius*. Besarnya daya yang terukur sesuai dengan persamaan 2.13, dimana torsi dinamis yang dihasilkan oleh turbin angin *Savonius* dapat diukur oleh *brake dynamometer*. Torsi dinamis yang dihasilkan oleh turbin angin *Savonius* diukur ketika turbin berputar. Massa pemberat ditambahkan dengan berbagai variasi hingga turbin berhenti berputar.

Untuk mengukur besarnya massa pemberat, dilakukan dengan menggunakan timbangan. Timbangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Shimadzu ELB300. Untuk spesifikasi yang lebih detail dapat dilihat pada tabel 3.5.

Tabel 3.3 Spesifikasi Pegas

SPESIFIKASI	
<i>Range</i>	0 to 5 N ; 0 to 500 g
<i>Resolution</i>	1 N ; 10 g

Tabel 3.4 Spesifikasi Benang Nilon Optimum

SPESIFIKASI	
Kekuatan	15 lbs ; 6,8 kg
Diameter	1 mm

Tabel 3.5 Spesifikasi timbangan Shimadzu ELB300

SPESIFIKASI	
<i>Weighing Capacity</i>	300 g
<i>Minimum Display</i>	0,01 g
<i>Standard deviation</i>	0,01 g
<i>Linearity errors</i>	0,01 g
<i>Pan size</i>	110 mm

**Gambar 3.10** Timbangan Shimadzu ELB300

3.2.5.3 Anemometer

Anemometer adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur kecepatan dan suhu angin. Anemometer yang digunakan dalam penelitian ini adalah Omega HHF 141 Vane Anemometer. Pengukuran dapat dilakukan dalam beberapa satuan pengukuran yaitu ft/min, mph, knots, meter/s dan km/h. Untuk spesifikasi yang lebih detail dapat dilihat pada tabel 3.6 dan tabel 3.7.

**Gambar 3.11** Anemometer

Tabel 3.6 Spesifikasi Omega HHF141 Vane Anemometer

SPESIFIKASI	
<i>Anemometer Fan Diameter</i>	25 mm
<i>Auto Power Off</i>	20 min
<i>Display</i>	Dual 4-digit LCD

Tabel 3.7 Spesifikasi Omega HHF141 Vane Anemometer

<i>Air Flow</i>	
<i>Range</i>	Resolution
60 to 6800 ft/m	1 ft/min
0,3 to 35 m/s	0,01 m/s

3.2.5.4 Torque Meter

Torque meter ini merupakan alat ukur digital yang berfungsi untuk mengukur torsi statis dari suatu poros. *Torque meter* yang digunakan yaitu *Torque meter* LUTRON model : TQ-8800 dengan *high resolution* 0,1 Newton-cm.

**Gambar 3.12** *Torque meter* LUTRON model TQ-8800

Tabel 3.8 Spesifikasi Torque meter LUTRON mode TQ-8800

<i>Display Unit/ Resolution</i>				
<i>Unit</i>	<i>Max. range</i>	<i>High resolution</i>	<i>Low resolution</i>	<i>Over load protection range</i>
kg-cm	15 kg-cm	0,01 kg-cm	0,1 kg-cm	22,5 kgf-cm max
Lb-inch	12,99 Lb-inch	0,01 Lb-inch	0,1 Lb-inch	19,53 Lbf-inch max
N-cm	147,1 N-cm	0,1 N-cm	1 N-cm	220,1 N-cm max

3.2.6 Pelumas

Pelumasan pada *bearing dynamometer* berguna untuk mengurangi rugi-rugi gesek yang terjadi pada *bearing* menggunakan *multipurpose lubricant*

**Gambar 3.13** Multi Purpose Lubricant

3.3 Metodologi Numerik

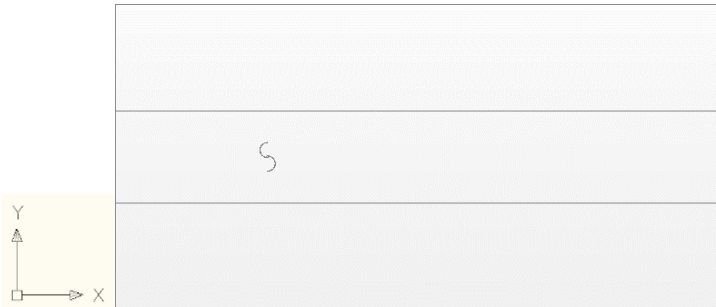
Analisa secara numerik dilakukan guna mendapatkan estimasi pola aliran baik berupa distribusi tekanan maupun vektor kecepatan untuk membantu pembahasan pada studi eksperimen kali ini. Simulasi dilakukan secara statis dengan beberapa preparasi diantaranya :

a. *Domain Simulasi*

Pada studi numerik *domain* simulasi sebisa mungkin harus disesuaikan dengan kondisi dari benda uji dan *test section*. Dalam penelitian ini domain simulasi dibagi menjadi dua, yaitu *static domain* dan *object domain*. *Static domain* adalah *domain* terluar yang dilintasi oleh fluida. *Domain* ini ditunjukkan dengan bentuk persegi yang mengelilingi *object domain*. *Object domain* ditunjukkan dengan bentuk turbin dan plat.

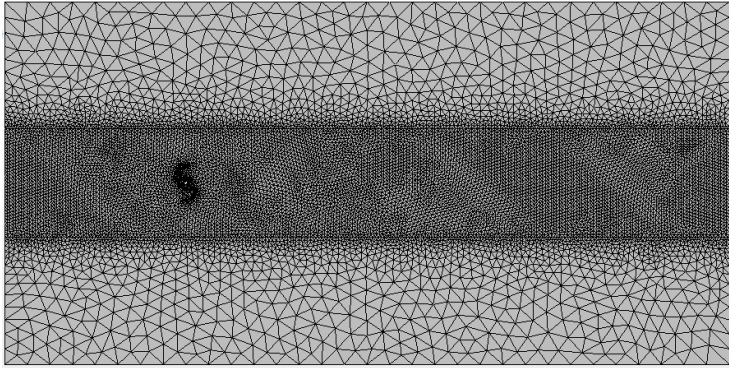
b. Pembuatan Geometri dan *Meshing*

Pembuatan geometri merupakan proses menggambar model sudu, poros, titik temu antara dua *domain*, dan batas aliran eksternal. Setelah membuat model-model tersebut hal yang dilakukan adalah mendefinisikan tiap bagian atau *face*. Gambar 3.14 menunjukkan geometri turbin angin *Savonius* dua sudu. Diameter rotor ($D = 190,2 \text{ mm}$) menjadi acuan pada pembuatan geometri, dengan diameter poros 13 mm.



Gambar 3.14 Skema Simulasi Numerik

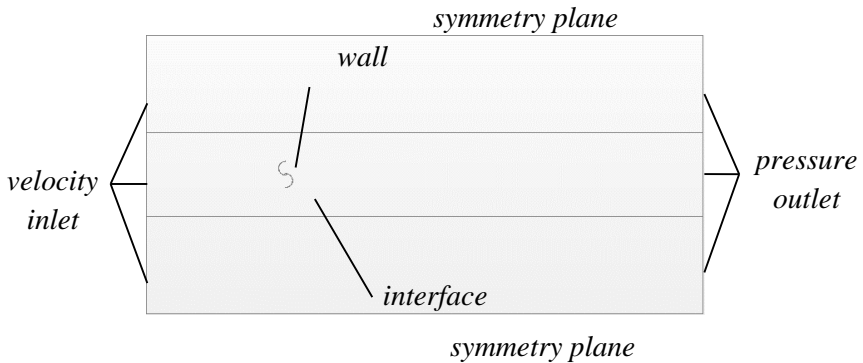
Pembuatan *meshing* adalah membagi geometri yang telah dibuat menjadi elemen-elemen kecil sehingga parameter yang ditentukan dapat diaplikasikan ke dalam setiap elemen kecil tersebut. Bentuk *mesh* yang dipilih adalah *tetrahedral mesh* dengan operasi *automated mesh*.



Gambar 3.15 Skema *Meshing*

c. *Boundary Condition*

Boundary Condition adalah penentuan batasan-batasan yang terjadi pada aliran yang melewati benda uji dengan menetapkan *inlet*, *outlet*, *wall*, *interface*, dan lain-lain pada geometri yang telah dibuat, yakni pada sudu, poros, titik temu antara dua *domain*, dan batas aliran eksternal. *Interface* adalah *boundary condition* berupa *wall* yang diatur supaya dapat ditembus oleh aliran fluida. *Boundary condition* pada *inlet* yaitu *velocity inlet* memiliki nilai 2,48 ; 4,6 dan 7,45 m/s, sedangkan pada *outlet* digunakan *pressure outlet*. Pada titik temu antara dua *domain* dianalisis sebagai *interface*. Terakhir pada sudu dan poros menggunakan *wall* seperti ditunjukkan pada gambar 3.16.



Gambar 3.16 Boundary condition turbin angin Savonius

d. *Models*

Pada langkah ini pemodelan aliran yang akan digunakan adalah *segregated flow* dengan *turbulence modelling k-epsilon realizable*, dimana model ini dipilih karena memiliki cakupan aplikasi yang luas dan umum digunakan, serta parameter *implicit unsteady* dipilih dengan *viscous regime* adalah *turbulence*.

e. *Materials*

Pemodelan ini menggunakan udara sebagai fluida kerja dengan *density* $1,172 \text{ kg/m}^3$ (*constant*) dan *dynamic viscosity* $1,852 \times 10^{-5} \text{ Pa.s}$ (*constant*).

3.4 Prosedur Pengambilan Data

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam pengambilan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

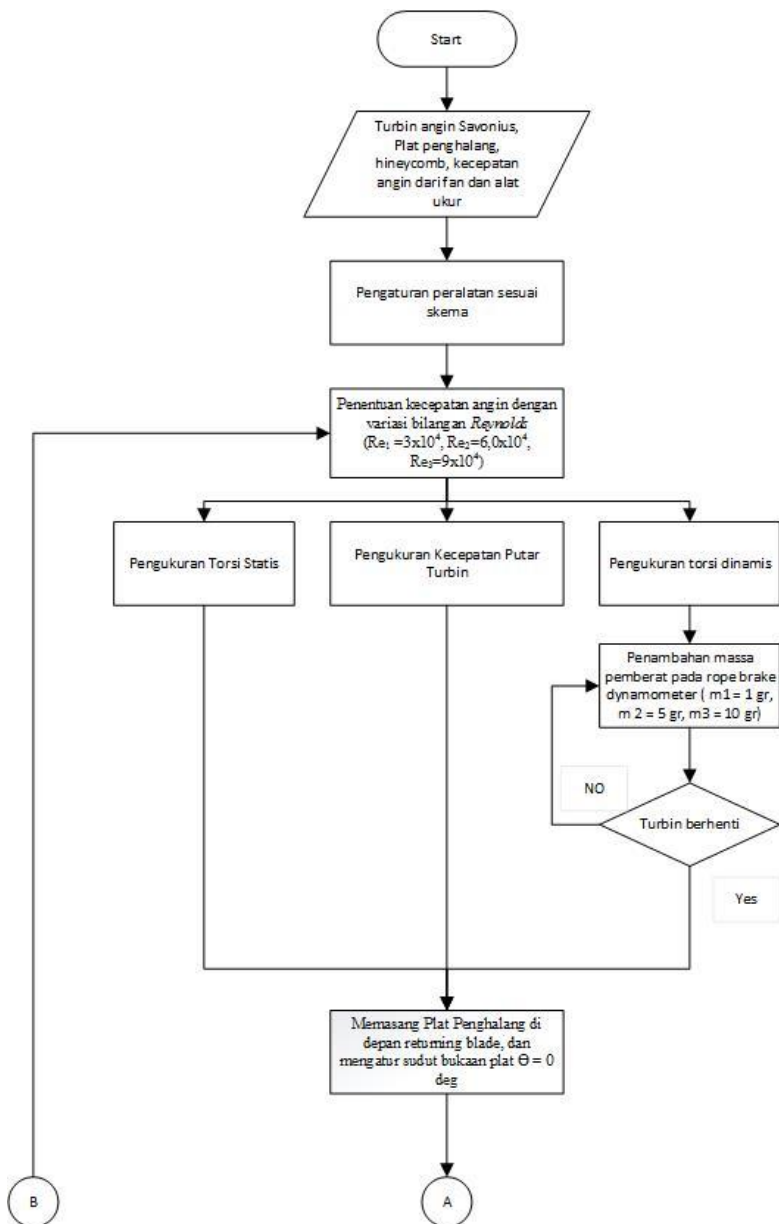
1. Pemasangan benda uji berupa turbin *Savonius* pada dudukan turbin.
2. Menyalakan *axial fan* dan mengukur besar frekuensi dengan menggunakan *voltage regulator* sehingga didapatkan kecepatan udara yang diharapkan.
3. Melakukan pengukuran temperatur udara dengan menggunakan *thermometer*.

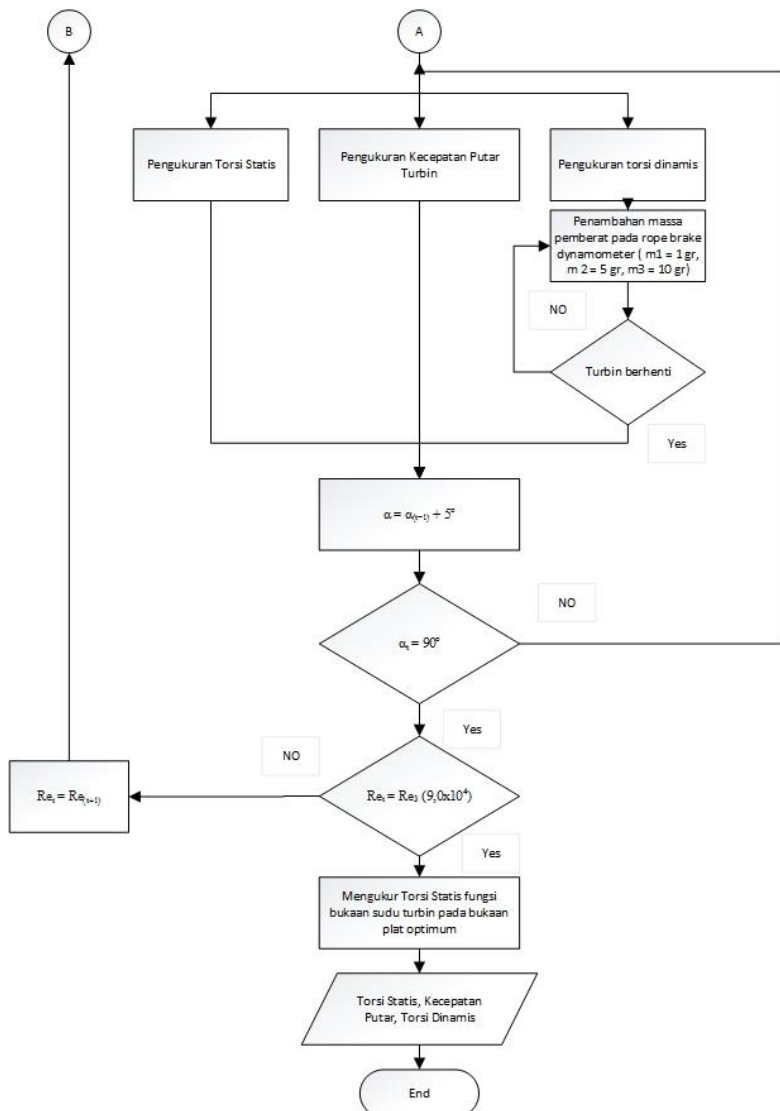
4. Mengukur kecepatan angin dengan menggunakan *anemometer* untuk mendapatkan bilangan *Reynolds* yang diinginkan yaitu $3,0 \times 10^4$.
5. Melakukan pengukuran terhadap kecepatan putar turbin dengan menggunakan *tachometer* yang ditembakkan pada poros turbin yang telah ditempel *scotlight* perak.
6. Melakukan pengukuran torsi dinamis dengan *brake dynamometer* untuk mendapatkan daya yang dihasilkan turbin dengan langkah sebagai berikut.
 - a. Menambahkan massa pemberat (1 gram) yang disambungkan dengan neraca pegas
 - b. Mengukur massa yang terukur pada neraca pegas.
 - c. Mengukur kecepatan putar turbin menggunakan *tachometer*
 - d. Menghitung selisih massa antara massa yang terbaca pada neraca pegas dengan massa pemberat.
 - e. Mengulangi langkah a sampai d hingga turbin berhenti berputar.
 - f. Memilih nilai *CoP* maksimum yang dihasilkan dari proses perhitungan sesuai persamaan 2.15.
7. Melakukan pengukuran torsi statis dengan menggunakan torsi meter.
8. Memasang plat pengganggu di depan *returning blade* dengan jarak antara poros turbin dengan plat pengganggu sebesar 12 cm.
9. Mengulangi langkah 5 sampai 7 dengan variasikan sudut bukaan plat pengganggu $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ dengan kenaikan 5° .
10. Mengulangi langkah 2 sampai 9 dengan variasi bilangan *Reynolds* $6,0 \times 10^4$ dan menambah massa pemberat (5 gram).
11. Mengulangi langkah 2 sampai 9 dengan variasi bilangan *Reynolds* $9,0 \times 10^4$ dan menambah massa pemberat (10 gram).
12. Setelah mengetahui sudut bukaan plat pengganggu optimum, dilakukan pengukuran torsi statis pada sudut bukaan plat pengganggu optimum pada sudut bukaan sudu turbin $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ dengan kenaikan 5° .

13. Mematikan *axial fan*
14. Mengolah semua data yang diperoleh (kecepatan putar, torsi statis, dan torsi dinamis) dan melakukan *plotting* grafik torsi statis terhadap sudut bukaan plat, kecepatan putar terhadap sudut bukaan plat, dan *Coefficient of Power (CoP)* terhadap sudut bukaan plat pengganggu baik tanpa plat maupun dengan penambahan plat pengganggu.
15. Mengolah data torsi statis pada bukaan plat pengganggu optimum terhadap sudut sudu turbin. Baik tanpa plat pengganggu maupun dengan plat pengganggu.
16. Membandingkan data hasil perhitungan antara turbin angin *Savonius* dengan plat pengganggu maupun tanpa plat pengganggu

3.5 Flowchart Pengambilan data

Urutan langkah pengambilan data dalam penelitian ini dapat digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut :





Gambar 3.17 Flowchart Pengambilan Data

[illegible]

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab IV ini berisi tentang analisa dan pembahasan terhadap data hasil eksperimen turbin angin *Savonius* dengan dan tanpa plat pengganggu dengan tujuan meningkatkan performa dari turbin angin *Savonius*

4.1 Contoh Perhitungan

4.1.1 Perhitungan Bilangan *Reynolds*

- **Densitas Udara (ρ)**

Dari persamaan ideal didapatkan bahwa :

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (4.1)$$

diketahui bahwa :

$$n = \frac{m}{M} \quad (4.2)$$

Dimana,

P = tekanan absolut udara = $1,01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

V = Volume udara (m^3)

n = jumlah mol (mol)

R = tetapan gas = $8314 \text{ J} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

T = temperatur pengukuran = $27,5^\circ\text{C} = 300,5 \text{ K}$

m = massa zat (kg)

M = massa atom relatif udara = $28,97 \text{ gr/mol}$

sehingga :

$$P \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

diketahui $V = \frac{m}{\rho}$, dibagi dengan massa zat sehingga didapatkan:

$$\frac{P}{\rho} = \frac{R \cdot T}{M} \quad (4.3)$$

$$\rho = \frac{P \cdot M}{R \cdot T}$$

$$\rho = \frac{1,01325 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 28,97 \text{ gr/mol}}{8314 \frac{\text{J}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \times 300,5 \text{ K}} = 1,175 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- **Viskositas Udara (μ)**

Untuk perhitungan viskositas udara digunakan persamaan Sutherland, yaitu:

$$\mu = \frac{b T^{3/2}}{S+T} \quad (4.4)$$

dimana untuk udara :

$$b = 1,458 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}^{1/2}}$$

$$S = 110,4 \text{ K}$$

T = temperatur saat penelitian = 300 K

Dari nilai-nilai tersebut kemudian dimasukkan ke dalam persamaan 4.4, sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{1,458 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}^{1/2}} \cdot (300 \text{ K})^{3/2}}{(110,4 + 300) \text{ K}} \\ &= 1,846 \times 10^{-5} \text{ kg/ms} \end{aligned}$$

- **Kecepatan Udara (U)**

Berdasarkan persamaan 2.20, maka kecepatan udara pada bilangan *Reynolds* $3,0 \times 10^4$ adalah sebagai berikut:

$$U = \frac{Re \times \mu}{\rho \times L} \quad (4.5)$$

Dimana,

L = Panjang karakteristik yang diukur pada medan aliran, dalam kasus ini adalah diameter turbin
 $= 2D - b = (2 \times 101,6 \text{ mm}) - 13 \text{ mm}$
 $= 190,2 \text{ mm} = 0,1902 \text{ m}$

Dari nilai tersebut kemudian dimasukkan ke dalam persamaan 4.5, sehingga didapatkan :

$$U = \frac{(3,0 \times 10^4) \times (1,846 \times 10^{-5} \frac{kg}{ms})}{1,1768 \frac{kg}{m^3} \times 0,1902 \text{ m}} = 2,48 \text{ m/s}$$

4.1.2 Perhitungan *Tip Speed Ratio (TSR)*

Persamaan untuk mendapatkan *TSR* pada bilangan *Reynolds* $3,0 \times 10^4$ adalah sebagai berikut:

$$TSR = \frac{\omega \cdot R}{U} \quad (4.6)$$

Dimana,

$\omega = \frac{2\pi n}{60}$; n = rpm pada bilangan *Reynolds* $3,0 \times 10^4$

$$\omega = \frac{2 \pi (137.45)}{60} = 14,394 \text{ rad/s}$$

R = jari-jari sudu turbin angin

$$R = \frac{L}{2} = \frac{(2D - b)}{2}$$

$$R = \frac{(2 \times 101,6 \text{ mm}) - 13 \text{ mm}}{2} = 95,1 \text{ mm} = 0,0951 \text{ m}$$

U = kecepatan pada bilangan *Reynolds* $3,0 \times 10^4$ yaitu 2,48 m/s

Sehingga didapatkan nilai *TSR*:

$$TSR = \frac{14,394 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times 0,0951 \text{ m}}{2,48 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,55$$

4.1.3 Perhitungan Coefficient of Power (*CoP*)

Persamaan untuk mendapatkan *CoP* pada bilangan *Reynolds* $3,0 \times 10^4$ adalah sebagai berikut:

$$CoP = \frac{\{(massa \text{ beban} - massa \text{ pegas})g\} \times r \times \omega}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot U^3} \quad (4.7)$$

Dimana,

$$A = L \cdot H = 0,1902 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} = 0,05706 \text{ m}^2$$

r = Jari-jari plat yang menerima beban

ω = Kecepatan radial turbin angin

Sehingga didapatkan nilai *CoP*

$$CoP = \frac{\left\{\frac{10-3}{1000}\right\} kg \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,01 \text{ m} \cdot 14,394 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{\frac{1}{2} \cdot 1,1768 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,05706 \text{ m}^2 \cdot (2,48 \frac{\text{m}}{\text{s}})^3} = 0,020269 = 2,03\%$$

4.2 Analisa Performa Turbin Angin *Savonius* Tanpa Plat Datar Pengganggu dengan Bilangan *Reynolds* $3,0 \times 10^4$; $6,0 \times 10^4$ dan $9,0 \times 10^4$

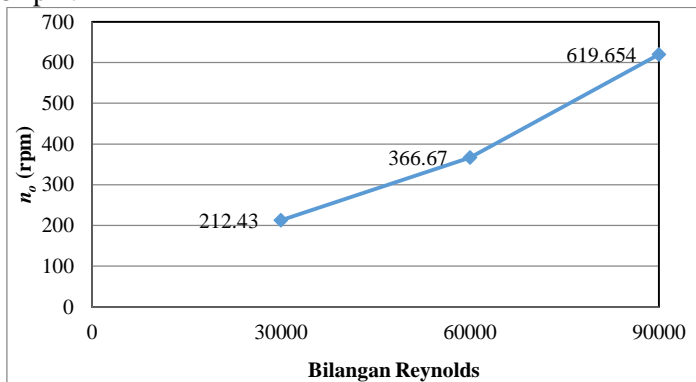
Pada bagian ini akan dilakukan analisa performa turbin angin *Savonius* tanpa menggunakan plat pengganggu. Analisa yang dilakukan meliputi pengaruh variasi bilangan *Reynolds*

terhadap nilai kecepatan putar, torsi statis, dan *Coefficient of Power* yang dihasilkan oleh turbin *Savonius*. Bentuk pengolahan data akan disajikan dalam bentuk grafik kecepatan putar terhadap bilangan *Reynolds*, grafik torsi statis terhadap bilangan *Reynolds*, grafik *Coefficient of Power* terhadap bilangan *Reynolds*.

4.2.1 Analisa Kecepatan Putar (rpm) Sebagai Fungsi Bilangan *Reynolds*

Pada sub bagian ini dibahas mengenai nilai kecepatan putar yang didapat dari pengukuran kecepatan putar turbin *Savonius* dengan variasi nilai bilangan *Reynolds* dari $3,0 \times 10^4$; $6,0 \times 10^4$ dan $9,0 \times 10^4$. Data diambil dengan menggunakan *tachometer* yang ditembakkan pada poros turbin yang telah dilekatkan *scotlight* perak. Hasil pengukuran kecepatan putar turbin disajikan pada gambar 4.1.

Pada gambar 4.1 ditunjukkan bahwa dengan meningkatnya bilangan *Reynolds*, maka nilai kecepatan putar dari turbin angin *Savonius* juga semakin meningkat. Hal ini dikarenakan kecepatan angin yang menabrak turbin meningkat, maka kecepatan putar dari turbin *Savonius* meningkat. Apabila kecepatan angin semakin tinggi maka nilai kecepatan putar akan semakin meningkat. Nilai kecepatan putar pada $Re\ 3,0 \times 10^4$ sebesar 212.43 rpm, pada $Re\ 6,0 \times 10^4$ sebesar 366.67 rpm, dan pada $Re\ 9,0 \times 10^4$ sebesar 619.65 rpm.

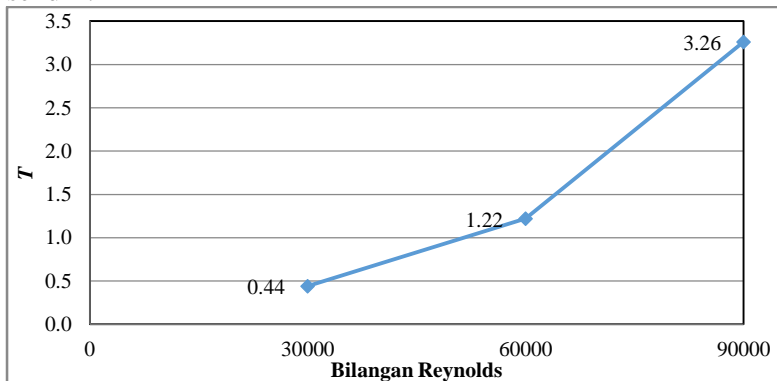


Gambar 4.1 Grafik kecepatan putar turbin angin tanpa plat pengganggu sebagai fungsi bilangan *Reynolds*

4.2.2 Torsi Statis (Ncm) Sebagai Fungsi Bilangan *Reynolds*

Pada sub bagian ini dibahas mengenai nilai torsi statis yang didapat dari pengukuran torsi statis turbin *Savonius* dengan variasi bilangan *Reynolds* dari $3,0 \times 10^4$; $6,0 \times 10^4$ dan $9,0 \times 10^4$. Data diambil dengan menggunakan torsi meter digital yang di cekam pada poros turbin. Hasil pengukuran torsi statis disajikan pada gambar 4.2.

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa dengan meningkatnya bilangan *Reynolds*, maka torsi statis dari turbin angin *Savonius* juga semakin meningkat. Nilai torsi statis pada $Re\ 3,0 \times 10^4$ sebesar 0.44 N.cm, pada $Re\ 6,0 \times 10^4$ sebesar 1.22 N.cm, dan pada $Re\ 9,0 \times 10^4$ sebesar 3.26 N.cm. Fenomena ini terjadi karena semakin meningkatnya bilangan *Reynolds*, semakin meningkat pula kecepatan udara dari *axial fan*. Meningkatnya kecepatan udara maka gaya *drag* yang dihasilkan pada *returning* dan *advancing blade* turbin semakin meningkat. Meningkatnya selisih gaya *drag* di sisi *advancing* dan *returning blade* turbin menyebabkan torsi dari turbin meningkat, karena torsi turbin merupakan fungsi dari selisih gaya *drag* dan lebar turbin itu sendiri.

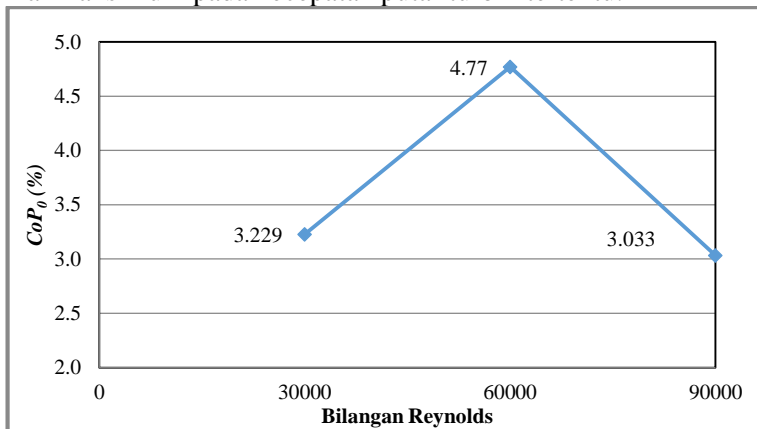


Gambar 4.2 Grafik torsi statis turbin angin *Savonius* tanpa plat pengganggu sebagai fungsi bilangan *Reynolds*

4.2.3 *Coefficient of Power (%)* Sebagai Fungsi Bilangan *Reynolds*

Pada sub bagian ini dibahas mengenai nilai *Coefficient of Power* yang didapat dari pengukuran daya output turbin *Savonius* dengan mengukur torsi dinamis melalui *brake dynamometer*. Selanjutnya daya output dibandingkan dengan daya teoritis yang didapat dari hasil perhitungan. Variasi diberikan pada bilangan *Reynolds* dari $3,0 \times 10^4$; $6,0 \times 10^4$ dan $9,0 \times 10^4$. Hasil pengukuran *Coefficient of Power* disajikan pada gambar 4.3.

Gambar 4.3 $Re\ 3,0 \times 10^4$ memiliki nilai *CoP* sebesar 3,22 %. Saat Re ditingkatkan menjadi $6,0 \times 10^4$ maka nilai *CoP* meningkat hingga 4,77 % Akan tetapi ketika Re dinaikkan lagi dari $6,0 \times 10^4$ menjadi $9,0 \times 10^4$ maka nilai *CoP* menurun hingga 3.033 %.Hal ini menunjukkan bahwa dengan meningkatnya bilangan *Reynolds* turbin angin *Savonius* memiliki nilai efisiensi tertinggi pada $Re\ 6,0 \times 10^4$, sehingga bila bilangan *Reynolds* ditingkatkan lagi maka efisiensi dari turbin akan semakin menurun. Hal ini menunjukan bahwa dengan meningkatnya kecepatan putar turbin tidak sebanding dengan peningkatan *CoP*, melainkan *CoP* memiliki nilai maksimum pada kecepatan putar turbin tertentu.



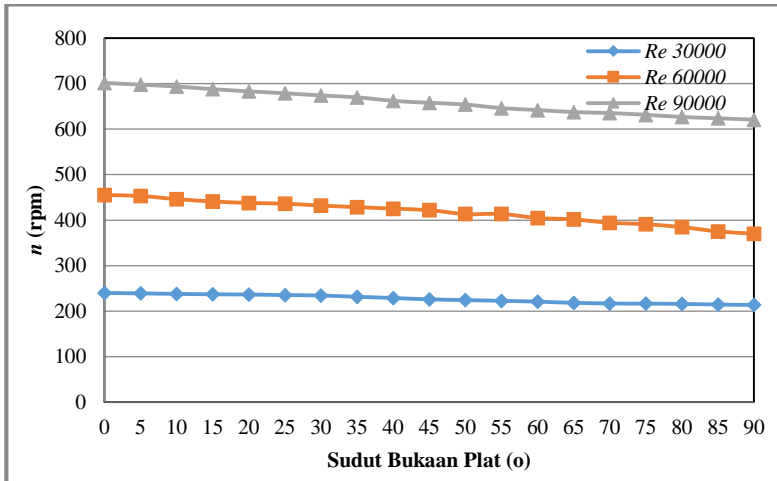
Gambar 4.3 Grafik *CoP* turbin angin *Savonius* tanpa plat pengganggu sebagai fungsi bilangan *Reynolds*

4.3 Analisa Performa Turbin Angin *Savonius* dengan Pemberian Plat Datar Pengganggu dengan Bilangan *Reynolds* $3,0 \times 10^4$; $6,0 \times 10^4$ dan $9,0 \times 10^4$.

Pada bagian ini akan dilakukan analisa performa turbin angin *Savonius* dengan menggunakan plat pengganggu bernilai $L/D = 1$ yang diletakkan di depan *returning blade*. Variasi sudut bukaan plat pengganggu bernilai 0° hingga 90° dengan kenaikan 5° . Analisa yang dilakukan meliputi pengaruh variasi sudut bukaan plat pengganggu terhadap nilai kecepatan putar, torsi statis, dan *Coefficient of Power (CoP)* yang dihasilkan oleh turbin *Savonius*. Selain itu data juga disajikan dalam bentuk torsi statis fungsi sudut bukaan sudu (α) pada sudut optimum plat pengganggu, serta *Coefficient of Power (CoP)* fungsi *Tip Speed Ratio (TSR)*. Bentuk pengolahan data akan disajikan dalam bentuk grafik sesuai dengan analisa yang dilakukan.

4.3.1 Kecepatan Putar (rpm) sebagai Fungsi Sudut Bukaan Plat ($^\circ$)

Pada pengambilan data kecepatan putar turbin *Savonius* dengan variasi sudut bukaan plat pengganggu, *tachometer* digunakan untuk mengukur kecepatan putar dari turbin yang ditembakkan pada poros turbin angin yang sudah ditempel *scotlight* berwarna perak. Data hasil pengukuran disajikan pada Gambar 4.4



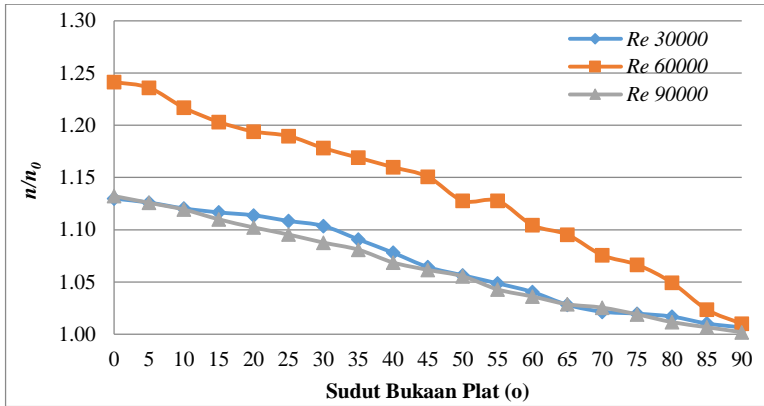
Gambar 4.4 Grafik kecepatan putar turbin angin *Savonius* berpengganggu (rpm) sebagai fungsi sudut bukaan plat ($^{\circ}$)

Gambar 4.4 memperlihatkan bahwa pada sudut bukaan plat yang sama, seiring dengan meningkatnya bilangan *Reynolds*, maka kecepatan putar dari turbin angin *Savonius* berpengganggu juga semakin tinggi. Data yang disajikan pada gambar 4.4 memperlihatkan bahwa pada $Re\ 3,0 \times 10^4$; $6,0 \times 10^4$ dan $9,0 \times 10^4$ nilai kecepatan putar maksimum terjadi pada bukaan plat 0° dan mengalami penurunan seiring bertambahnya sudut bukaan plat. Untuk $Re\ 3,0 \times 10^4$ didapatkan nilai kecepatan putar 240 rpm pada sudut bukaan plat pengganggu sebesar 0° dan berangsur menurun hingga kecepatan putar terendah terdapat pada sudut bukaan plat pengganggu 90° dengan nilai 213,80 rpm. Hal yang sama terjadi pula pada $Re\ 6,0 \times 10^4$ didapatkan nilai kecepatan putar 455 rpm pada sudut bukaan plat pengganggu 0° dan berangsur menurun hingga kecepatan terendah terdapat pada sudut bukaan plat pengganggu 90° dengan nilai 370,33 rpm. Pada $Re\ 9,0 \times 10^4$ didapatkan nilai kecepatan putar 701,6 rpm pada sudut bukaan plat pengganggu 0° dan berangsur menurun hingga

kecepatan putar terendah pada sudut bukaan plat pengganggu 90° dengan nilai 620,80 rpm .

Dengan penambahan plat pengganggu didepan *returning blade*, maka didapatkan, dengan peningkatan kecepatan aliran udara berpengaruh terhadap gaya *drag* yang diterima kedua *blade* turbin *Savonius*. Semakin besar selisih gaya *drag* yang diterima kedua *blade* turbin *Savonius* maka nilai kecepatan putar yang dihasilkan juga semakin besar. Peningkatan nilai kecepatan putar terjadi pada semua variasi sudut plat pengganggu turbin *Savonius* sebagaimana dapat dilihat pada gambar 4.4. Plat pengganggu didepan *returning blade* turbin *Savonius* akan menghalangi aliran udara yang menuju *returning blade* sehingga akan memperkecil gaya *drag* pada sisi tersebut. Penurunan gaya *drag* pada sisi *returning blade* mengakibatkan selisih gaya *drag* antara *returning* dan *advancing blade* akan semakin besar sehingga akan memperbesar kecepatan putar yang dihasilkan oleh turbin *Savonius*. Fenomena ini terjadi pada nilai sudut bukaan plat 0° . Semakin bertambahnya nilai sudut bukaan plat pengganggu mengakibatkan adanya udara yang menerobos ke dalam sisi *returning blade*, sehingga selisih gaya *drag* pada *advancing* dan *returning blade* semakin kecil. Hal ini yang menyebabkan kecepatan putar turbin semakin menurun dengan penambahan nilai sudut bukaan plat pengganggu.

Pada pembahasan sebelumnya mengenai eksperimen tanpa plat pengganggu didapatkan nilai kecepatan putar turbin adalah 212.43 rpm pada $Re\ 3,0 \times 10^4$. Pada $Re\ 6,0 \times 10^4$ didapat nilai kecepatan putar turbin sebesar 366.67 rpm. Pada $Re\ 9,0 \times 10^4$ didapat kecepatan putar turbin sebesar 619.65 rpm. Selanjutnya dilakukan komparasi data antara data kecepatan putar dengan menggunakan plat pengganggu dan tanpa plat pengganggu yang ditampilkan berupa data grafik pada gambar 4.5.



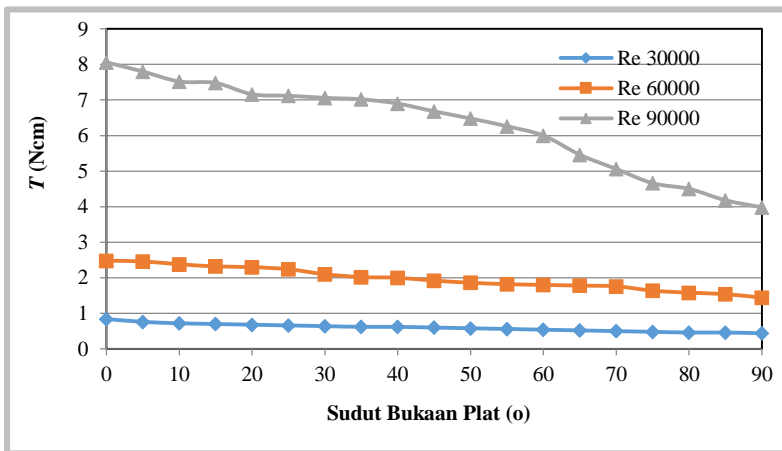
Gambar 4. 5 Grafik perbandingan kecepatan putar antara turbin angin *Savonius* berpengganggu dan tanpa plat Pengganggu (n/n_0) sebagai fungsi bukaan sudut plat pengganggu

Gambar 4.5 menunjukkan grafik perbandingan kecepatan putar antara turbin angin *Savonius* dengan plat pengganggu dan tanpa plat Pengganggu (n/n_0). Pada $Re = 3,0 \times 10^4$ n/n_0 plat pengganggu sudut 0° mengalami kenaikan nilai kecepatan putar sebesar 1,129 kali dibandingkan dengan turbin angin *Savonius* tanpa pengganggu. Selanjutnya seiring bertambahnya bukaan sudut plat pengganggu, nilai n/n_0 semakin menurun hingga 1,006 kali pada sudut 90° . Untuk $Re 6,0 \times 10^4$ kenaikan maksimum kecepatan putar sebesar 1,240 kali. Selanjutnya nilai n/n_0 semakin menurun dengan penambahan sudut bukaan plat pengganggu hingga 1,01 kali pada nilai 90° . Begitu pula pada $Re = 9,0 \times 10^4$ kenaikan maksimum dari kecepatan putar sebesar 1,132 kali, selanjutnya nilai n/n_0 mengalami penurunan hingga 1,001 pada bukaan plat pengganggu 90° . Dari sini bisa kita pada sudut bukaan plat pengganggu 0° menunjukkan peningkatan kecepatan putar tertinggi di semua bilangan *Reynolds*. Pada semua bilangan *Reynolds* yang di bandingkan, semuanya menunjukkan bahwa perbandingan kecepatan putar memiliki nilai lebih besar dari kecepatan putar awal. Hal ini dibuktikan dengan nilai $n/n_0 > 1$.

Sehingga, hal ini menjelaskan bahwa dengan penambahan plat Pengganggu dapat meningkatkan performa dari turbin angin *Savonius*.

4.3.2 Torsi Statis (Ncm) Sebagai Fungsi Sudut Bukaannya Plat (°)

Pada pengukuran kali ini diukur nilai torsi statis dengan menggunakan *torque meter* yang dicekam pada poros turbin angin *Savonius* dan dipasang sebuah plat dengan $L/D = 1$ di depan *returning blade* dan divariasikan sudut plat Pengganggu dari nilai 0° hingga 90° dengan kenaikan sebesar 5° . Penelitian ini dilakukan pada $Re\ 3,0 \times 10^4$; $6,0 \times 10^4$ dan $9,0 \times 10^4$.

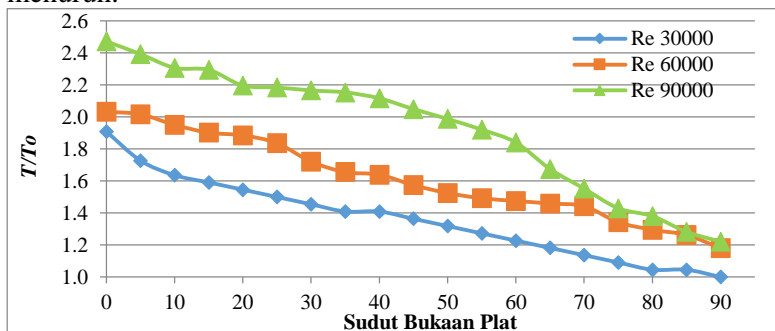


Gambar 4. 6 Grafik torsi statis turbin angin *Savonius* berpengganggu (T) sebagai sudut bukaan plat pengganggu (°)

Gambar 4.6 menunjukkan nilai torsi statis yang dihasilkan turbin ketika ditambahkan plat pengganggu di depan *returning blade*. Pada bukaan plat sebesar 0° ; nilai torsi statis pada $Re\ 3,0 \times 10^4$ adalah sebesar 0.84 N.cm. Pada $Re\ 6,0 \times 10^4$ nilai torsi statisnya sebesar 2.48 N.cm. Pada $Re\ 9,0 \times 10^4$ nilai torsi statisnya sebesar 8,06 N.cm. Dengan menggunakan variasi nilai Re , didapat bahwa torsi statis pada $Re\ 9,0 \times 10^4$ untuk variasi

sudut plat pengganggu yang sama memiliki torsi statis yang lebih besar dari pada $Re\ 3,0 \times 10^4$ dan $6,0 \times 10^4$. Hal itu sejalan dengan hasil yang diperoleh pada torsi statis turbin angin tanpa plat pengganggu dimana dengan bertambahnya nilai Re , maka bertambah pula nilai dari torsi statis dari turbin. Semakin tinggi nilai Re , maka semakin tinggi pula kecepatan angin. Hal ini mengakibatkan peningkatan selisih gaya *drag* dari kedua sudu turbin, sehingga selisih gaya *drag* pada turbin meningkat. Akibatnya gaya yang digunakan untuk menahan turbin juga semakin tinggi. Sehingga torsi yang dihasilkan juga semakin besar.

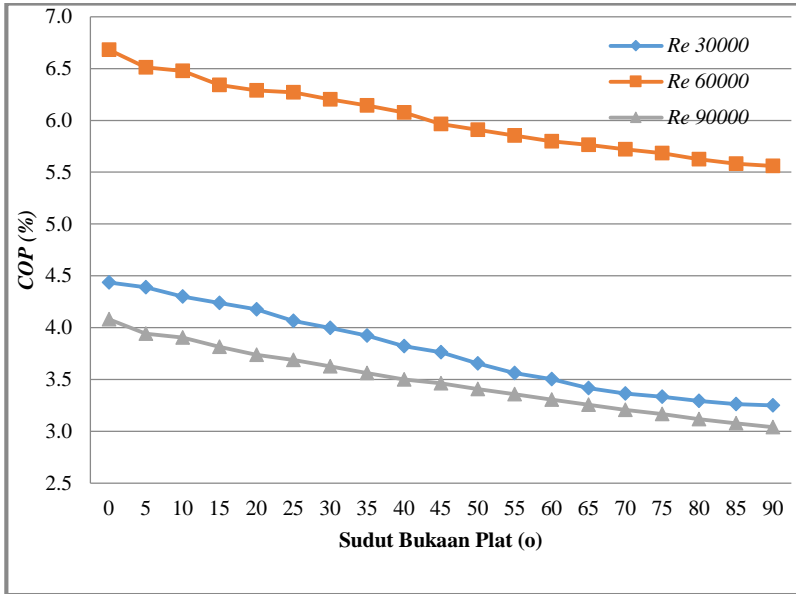
Gambar 4.6 memperlihatkan bahwa pada bilangan *Reynolds* $3,0 \times 10^4$; $6,0 \times 10^4$ dan $9,0 \times 10^4$ nilai torsi statis mengalami penurunan seiring bertambahnya sudut bukaan plat pengganggu. Pada bukaan plat pengganggu sebesar 0° nilai torsi statis mencapai nilai maksimum. Penurunan torsi statis ini dikarenakan semakin bertambahnya sudut bukaan plat, maka ada aliran udara yang menerobos sisi luar dari plat pengganggu. Hal ini mengakibatkan gaya *drag* pada sisi *returning blade* meningkat. Dengan meningkatnya gaya *drag* pada *returning blade*, menyebabkan selisih gaya *drag* antara *advancing* dan *returning blade* semakin menurun sehingga torsi statis pada turbin semakin menurun.



Gambar 4.7 Grafik perbandingan torsi statis antara turbin angin *Savonius* pengganggu dan tanpa plat pengganggu (T/T_0) sebagai fungsi sudut bukaan plat pengganggu

Pada gambar 4.7 disajikan grafik perbandingan antara torsi statis yang dihasilkan oleh turbin *Savonius* dengan penambahan plat pengganggu. Pada $Re = 3,0 \times 10^4$ nilai torsi statis turbin *Savonius* dengan plat pengganggu pada sudut bukaan plat pengganggu 0° mengalami kenaikan hingga 1,9 kali dibandingkan dengan turbin angin *Savonius* tanpa pengganggu. Untuk $Re 6,0 \times 10^4$ kenaikan maksimum dari torsi statis sebesar 2,03 kali dan pada $Re = 9,0 \times 10^4$ kenaikan maksimum dari kecepatan putar sebesar 2,47 kali. Penurunan torsi statis yang terjadi di setiap trendline disebabkan penambahan nilai sudut bukaan plat. Torsi statis merupakan fungsi dari gaya *drag* dan lebar lengan dari turbin sendiri. Hal ini mengakibatkan semakin besar nilai bukaan sudut plat pengganggu maka udara yang dialirkan semakin mengarah ke bagian dalam lengan dari turbin. Hal ini menyebabkan titik tekan dari gaya *drag* pada lengan turbin semakin kecil. Hasilnya nilai torsi statis berangsur mengecil serta adanya aliran udara yang menerobos sisi luar dari plat pengganggu. Hal ini mengakibatkan meningkatnya gaya *drag* dari sisi *returning blade* sehingga terjadi penurunan selisih gaya *drag* antara *advancing* dan *returning blade*. Akibatnya nilai torsi statis dari turbin mengalami penurunan. Nilai T/T_0 selalu memiliki nilai diatas 1. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan plat pengganggu didepan *returning blade* turbin angin *Savonius* dapat meningkatkan nilai torsi statis dari turbin.

4.3.3 *Coefficient of Power (Cop)* Sebagai Fungsi Sudut Bukaannya Plat ($^{\circ}$)



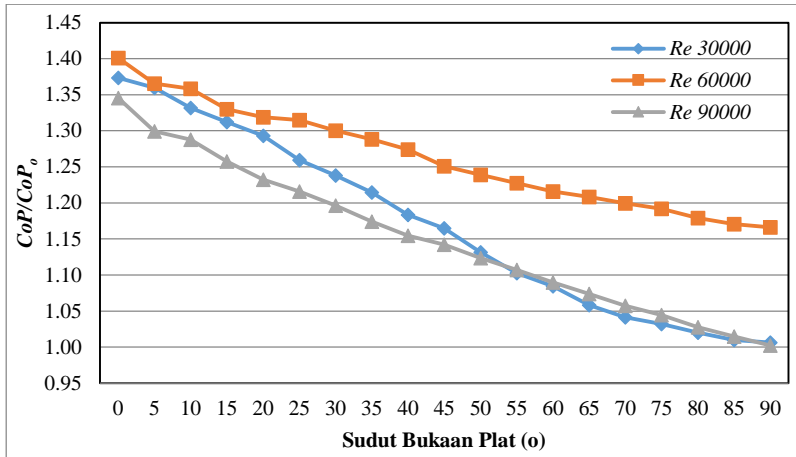
Gambar 4.8 Grafik *Coefficient of Power (CoP)* turbin angin Savonius berpengganggu sebagai fungsi sudut bukaan plat ($^{\circ}$)

CoP merupakan perbandingan antara daya output berbanding dengan daya teoritis. Daya aktual didapatkan dengan menggunakan *brake dynamometer*, sedangkan daya teoritis didapatkan dengan cara perhitungan. Selanjutnya nilai CoP didapatkan dengan cara seperti pada contoh perhitungan. Pada penelitian kali ini dilakukan pengukuran daya *output* turbin dengan menggunakan variasi sudut plat pengganggu mulai 0° hingga 90° dengan kenaikan 5° dan dilakukan dalam tiga variasi bilangan *Reynolds* $3,0 \times 10^4$; $6,0 \times 10^4$ dan $9,0 \times 10^4$. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.8.

Berdasarkan Gambar 4.8, trendline dari grafik cenderung mengalami penurunan seiring bertambahnya sudut bukaan plat

pengganggu. Pada $Re\ 6,0 \times 10^4$ nilai CoP lebih tinggi dibandingkan $Re\ 9,0 \times 10^4$ dan $3,0 \times 10^4$. Pada $Re\ 6,0 \times 10^4$, nilai Cop menunjukkan 6,682% pada bukaan sudut plat 0° . Saat bukaan sudut plat 90° , nilai CoP menunjukkan 5,56 %. Untuk $Re\ 3,0 \times 10^4$ nilai CoP menunjukkan 4,44% pada bukaan plat pengganggu 0° . Selanjutnya CoP bernilai 3,25 % pada bukaan sudut plat 90° . Sedangkan untuk $Re\ 9,0 \times 10^4$ CoP menunjukkan 4,08% pada bukaan plat 0° , Selanjutnya pada sudut 90° , CoP bernilai 3,04 %.

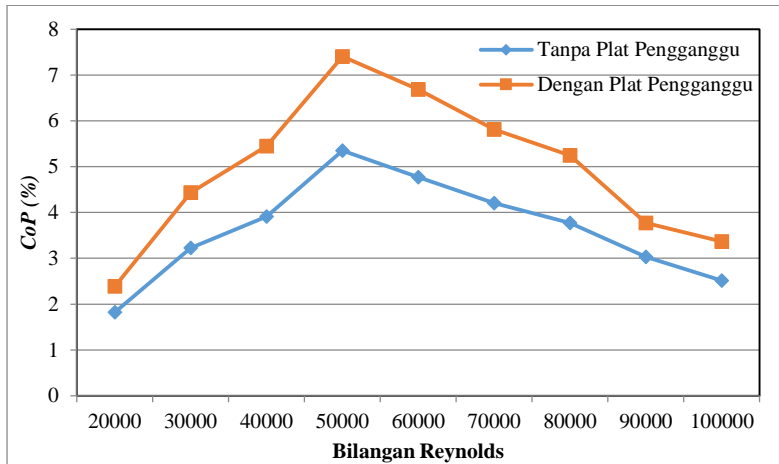
Pada fenomena diatas, nilai CoP maksimum terletak pada sudut bukaan plat 0° . Hal ini disebabkan penempatan plat pengganggu pada sisi *returning blade* turbin angin *Savonius* efektif menurunkan gaya *drag* pada sisi *returning blade*. Sehingga selisih gaya *drag* pada turbin angina mengalami peningkatan. Penambahan sudut bukaan pada plat pengganggu, mengakibatkan daerah sisi luar dari sisi *returning blade* terkena hembusan angin. Hal ini berdampak meningkatnya gaya *drag* pada sisi *returning blade*, sehingga nilai CoP dari turbin angin *Savonius* semakin menurun. Nilai CoP tertinggi didapat pada $Re\ 6,0 \times 10^4$. Fenomena ini disebabkan kenaikan kecepatan putar tidak diiringi dengan kenaikan daya yang pula. Bukti ini sesuai dengan hukum Betz yang menyatakan nilai CoP tidak berbanding lurus dengan peningkatan bilangan *Reynolds*.



Gambar 4.9 Grafik perbandingan *Coefficient of Power* antara turbin angin *Savonius* berpengganggu dan tanpa plat pengganggu (CoP/CoP_0) sebagai fungsi sudut bukaan plat

Pada Gambar 4.9 menunjukkan grafik perbandingan nilai *Coefficient of Power* turbin *Savonius* setelah pemberian plat Pengganggu didepan *returning blade* dan tanpa pemberian plat Pengganggu. Nilai CoP/CoP_0 terbesar dihasilkan pada sudut 0° untuk $Re\ 6,0 \times 10^4$ dengan kenaikan sebesar 1,4 kali. Selanjutnya nilai CoP/CoP_0 mengalami penurunan pada sudut 90° senilai 1,16 kali. Pada $Re\ 3,0 \times 10^4$ mengalami kenaikan sebesar 1,37 kali. Selanjutnya turun hingga 1,006 kali pada 90° . Untuk $Re\ 9,0 \times 10^4$ nilai CoP/CoP_0 naik hingga 1,34 kali pada sudut 0° . Selanjutnya turun hingga 1,002 kali pada sudut 90° . Ketiga bilangan *Reynolds* memiliki tingkat penurunan *Coefficient of Power* yang berbeda-beda, namun memiliki trendline yang identik. Pada bilangan *Reynolds* $6,0 \times 10^4$ turbin *Savonius* memiliki nilai efisiensi yang paling baik daripada bilangan *Reynolds* $3,0 \times 10^4$ dan $9,0 \times 10^4$. Sudut bukaan plat sebesar 0° juga memiliki nilai CoP/CoP_0 maksimum. Pada grafik tersebut terlihat bahwa nilai CoP/CoP_0 selalu memiliki nilai diatas satu. Fenomena ini menunjukkan

bahwa dengan pemberian plat engganggu didepan *returning blade* turbin *Savonius* dapat meningkatkan performadari turbin *Savonius*.

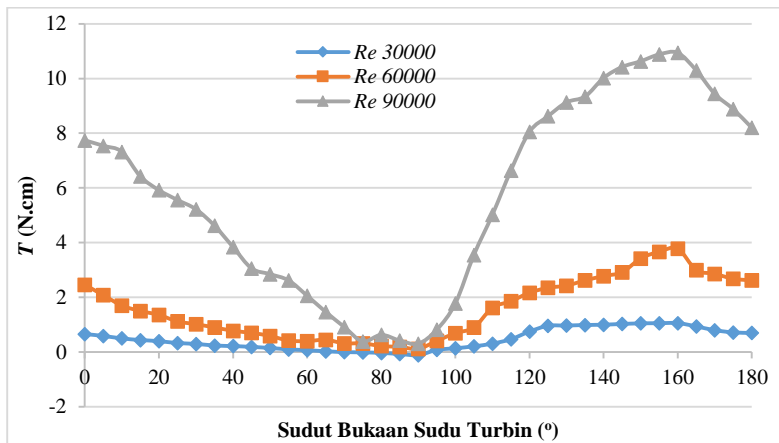


Gambar 4. 10 Grafik *Coefficient of Power (CoP)* turbin angin *Savonius* berpengganggu pada sudut bukaan plat 0° dan tanpa plat pengganggu sebagai fungsi bilangan *reynolds*

Dari Gambar 4.10 terlihat *Coefficient of Power* dengan menggunakan plat pengganggu dan tanpa menggunakan plat pengganggu. Hasilnya kedua grafik menunjukkan trendline yang identik. Nilai *CoP* turbin *Savonius* meningkat dari $Re\ 2,0 \times 10^4$ hingga $5,0 \times 10^4$. Selanjutnya trendline grafik semakin menurun hingga bilangan *Reynolds* 10^5 . Hal ini diakibatkan pada bilangan *Reynolds* diatas $5,0 \times 10^4$ efisiensi turbin *Savonius* semakin menurun. Sehingga pada penelitian ini antara bilangan *Reynolds* $3,0 \times 10^4$, $6,0 \times 10^4$ dan $9,0 \times 10^4$, *Coefficient of Power* terbesar didapatkan pada bilangan *Reynolds* $6,0 \times 10^4$. Selain itu terbukti dengan penambahan plat datar pengganggu dapat meningkatkan performa turbin *Savonius*.

4.3.4 Torsi Statis (Ncm) sebagai Fungsi Sudut Bukaannya Sudu Turbin (α)

Gambar 4.11 menunjukkan grafik torsi statis turbin angin *Savonius* dengan plat pengganggu yang diletakkan di depan *returning blade*. Torsi statis adalah torsi yang diukur ketika turbin angin berada dalam keadaan tidak berputar. Grafik tersebut ditampilkan dalam nilai torsi statis sebagai fungsi sudut pada bukaan plat pengganggu (α) sebesar 0° dimana pada sudut tersebut memiliki nilai torsi statis paling tinggi.



Gambar 4. 11 Grafik torsi statis turbin angin *Savonius* berpengganggu (T) sebagai fungsi sudut bukaan sudu turbin

Gambar 4.11 memperlihatkan bahwa pada posisi sudut yang sama, dengan meningkatnya bilangan *Reynolds*, nilai torsi statis dari turbin angin *Savonius* berpengganggu juga meningkat. Sehingga torsi yang dihasilkan juga semakin meningkat. Pada $\alpha = 0^\circ$, nilai torsi statis pada bilangan *Reynolds* $3,0 \times 10^4$ adalah sebesar 1.06 Ncm, pada bilangan *Reynolds* $6,0 \times 10^4$ adalah sebesar 3.78 Ncm, sedangkan pada bilangan *Reynolds* $9,0 \times 10^4$ nilai torsi statisnya sebesar 10.94 Ncm. Pada Gambar 4.11 juga memperlihatkan bahwa pada bilangan *Reynolds* $3,0 \times 10^4$; $6,0 \times$

10^4 dan $9,0 \times 10^4$ nilai torsi statis mengalami kenaikan dan penurunan. Pada nilai α antara 0° hingga 80° nilai torsi statis mengalami penurunan. Sedangkan pada nilai α antara 80° hingga 90° nilai torsi statis mengalami peningkatan. Perubahan posisi sudu (*returning* dan *advancing*) mempengaruhi nilai koefisien *drag* untuk masing-masing sudu. Gaya drag akibat kecepatan angin dipengaruhi oleh koefisien *drag* masing-masing sudu.

Pada saat nilai α menunjukkan nilai 160° , didapat nilai torsi statis maksimum. Hal ini dikarenakan pada sudut ini aliran yang diarahkan dari depan plat pengganggu diarahkan seluruhnya menuju *advancing blade*. Analisa mengenai variasi α memiliki maksud untuk mendapatkan sudut optimum dari turbin untuk melakukan *self starting* turbin, sehingga turbin dapat berputar dengan sendirinya.

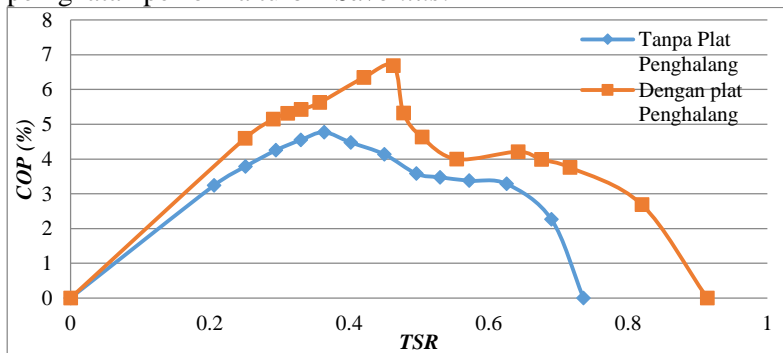
Untuk bilangan *Reynolds* $3,0 \times 10^4$, $6,0 \times 10^4$ dan $9,0 \times 10^4$ pada penelitian ini, semuanya menunjukkan bahwa nilai terendah dari torsi statis turbin angin *Savonius* berpengganggu berada pada sudut 80° , hal ini diakibatkan oleh besar *wake* yang diciptakan oleh aliran pada masing-masing bilangan *Reynold*.

4.3.5 *Coefficient of Power (Cop) sebagai fungsi Tip Speed Ratio (λ)*

Tip Speed Ratio merupakan perbandingan kecepatan ujung *blade* turbin *Savonius* terhadap kecepatan aliran udara. Kecepatan ujung *blade* turbin didapatkan dari perkalian kecepatan sudut turbin dan jarak ujung turbin ke pusat poros turbin. Kecepatan sudut turbin diperoleh dari kecepatan putar turbin yang diukur dengan menggunakan *tachometer* yang ditembakkan ke poros turbin yang sudah ditemplei *scotlight* berwarna perak. Berikut disajikan *CoP* fungsi *TSR* pada *Re* $6,0 \times 10^4$ tanpa menggunakan plat dan dengan menggunakan plat dengan sudut 0° .

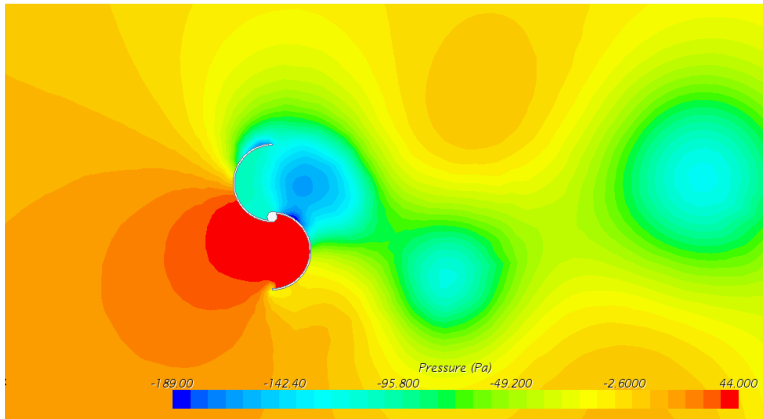
Dan dari Gambar 4.12 dibawah, maka dapat dilihat korelasi antara *TSR* dengan *CoP*. Jika kita mengamati sudut bukan plat optimum, maka didapatkan nilai *CoP* maksimum pada nilai 6,68 dan *TSR* bernilai 0,46. Gambar 4.12 juga memperlihatkan bahwa pada bilangan *Reynolds* $6,0 \times 10^4$ nilai *Coefficient of Power*

mengalami kenaikan setelah dipasang plat pengganggu. Trendline dari grafik sendiri memiliki bentuk yang relatif identik. Trendline dari grafik mengalami kenaikan, lalu mengalami penurunan. Pada nilai *TSR* dari 0 hingga 0,46 nilai *CoP* mengalami kenaikan hingga 6,68 %. Selanjutnya nilai *CoP* mengalami penurunan dari nilai *TSR* 0,46 menuju 0,55, dengan *CoP* 0,399%. Trendline kembali mengalami peningkatan hingga *TSR* bernilai 0,64 dengan *CoP* 4,21 %. Selanjutnya trendline kembali mengalami penurunan hingga *CoP* bernilai 0 kembali. Nilai *CoP* dengan plat pengganggu fungsi *TSR* memiliki area dibawah grafik yang lebih luas jika dibandingkan dengan tanpa plat pengganggu. Selain peningkatan nilai *CoP*, peningkatan daerah *TSR* yang semakin luas juga mengindikasikan peningkatan performa dari turbin. Dengan menempatkan plat Pengganggu di depan *returning blade* didapatkan efektif untuk mengurangi gaya *drag* yang terjadi pada *returning blade*. Sehingga torsi yang dihasilkan oleh *returning blade* juga menurun dan mengakibatkan selisih daya antara *returning blade* dan *advancing blade* semakin besar. Hal ini dapat meningkatkan daya dan kecepatan putar yang dihasilkan oleh turbin. Sehingga nilai *Coefficient of Power* dan *TSR* mengalami kenaikan. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan plat pengganggu didepan *returning blade* memiliki pengaruh terhadap peningkatan performa turbin *Savonius*.



Gambar 4. 12 Grafik *Coefficient of Power* Turbin Angin *Savonius* berpengganggu sebagai Fungsi *TSR* $Re\ 6,0 \times 10^4$

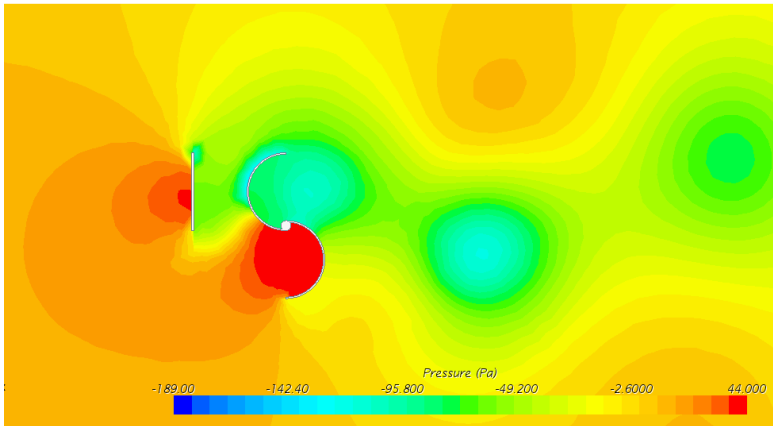
4.4 Simulasi Aliran pada Turbin Angin *Savonius* Dengan Plat Pengganggu dengan Menggunakan *Software* Star CCM+



Gambar 4. 13 Simulasi distribusi tekanan pada turbin angin *Savonius* dengan bilangan *Reynolds* $9,0 \times 10^4$ tanpa plat pengganggu

Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* Star CCM+ dengan benda uji turbin angin *Savonius* pada bilangan *Reynolds* $9,0 \times 10^4$ dengan dua kondisi yang berbeda, yaitu kondisi pertama tanpa menggunakan plat pengganggu, sedangkan kondisi kedua dengan menggunakan plat datar pengganggu dengan sudut bukaan optimum 0° dan 30° . Hasil simulasi disajikan berupa data vektor kecepatan dan tekanan dari turbin angin.

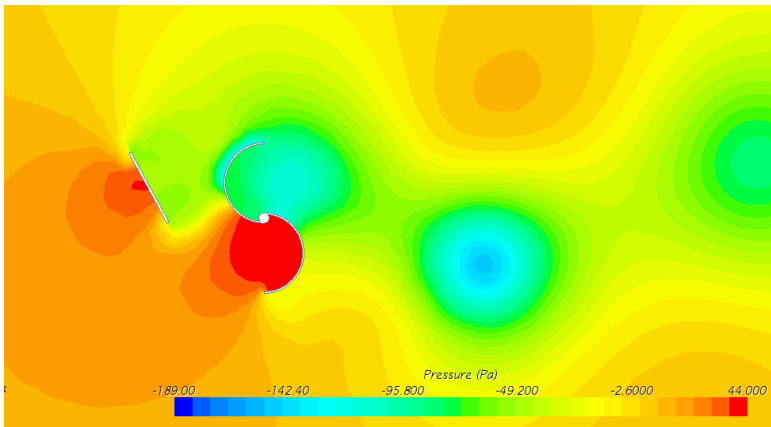
Gambar 4.13 menunjukkan distribusi tekanan yang terjadi pada turbin angin *Savonius* dengan kondisi tanpa plat pengganggu pada bilangan *Reynolds* $9,0 \times 10^4$. Terlihat bahwa tekanan udara yang terletak di daerah *advancing blade* lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan udara di depan *returning blade*. Perbedaan distribusi tekanan ini menyebabkan turbin dapat berputar.



Gambar 4.14 Simulasi distribusi tekanan pada turbin angin Savonius dengan bilangan $Reynolds$ $9,0 \times 10^4$ dengan bukaan plat pengganggu 0°

Pada gambar 4.14 disajikan hasil simulasi berupa distribusi tekanan aliran udara di daerah sekitar turbin saat dipasang plat pengganggu dengan sudut bukaan plat sebesar 0° pada bilangan $Reynolds$ $9,0 \times 10^4$. Pada gambar terlihat distribusi tekanan pada *advancing blade*, di depan plat pengganggu, dan daerah di depan *returning blade*. Pada daerah di depan *returning blade*, distribusi tekanan menunjukkan warna biru, sedangkan pada sisi *advancing blade*, distribusi tekanan menunjukkan warna merah, dan untuk daerah di depan plat pengganggu ditunjukkan distribusi tekanan berwarna merah pada sisi tengah dan berangsur berubah menjadi kuning. Pada area di balik turbin, didapatkan distribusi tekanan dibalik *advancing blade* lebih tinggi dibanding *returning blade*. Dari penjelasan gambar tersebut menunjukkan bahwa daerah di depan *advancing blade* memiliki distribusi tekanan yang paling tinggi, berikutnya di daerah depan plat menunjukkan distribusi tekanan yang lebih rendah dari daerah *advancing blade*. Sedangkan pada daerah di depan *returning blade*, menunjukkan distribusi tekanan paling rendah, sehingga angin akan lebih cenderung memiliki kecepatan lebih tinggi pada *advancing blade* daripada daerah *returning blade*.

Dari penjelasan kedua gambar diatas dapat kita lihat perbedaan signifikan distribusi tekanan di daerah *returning blade*. Dengan penambahan plat pengganggu menunjukkan bahwa distribusi tekanan dari daerah *returning blade* lebih rendah dibandingkan dengan tanpa plat pengganggu. Hal ini mengakibatkan selisih gaya *drag* antara sisi *returning blade* dan *advancing blade* semakin meningkat juga. Hasilnya kecepatan putar dari turbin angin meningkat.

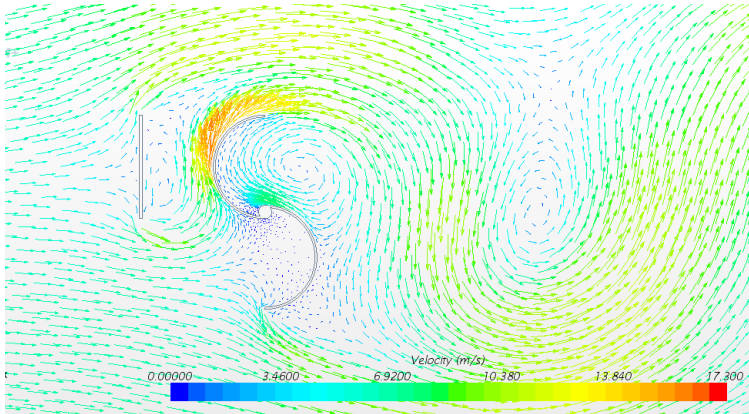


Gambar 4.155 Simulasi distribusi tekanan pada turbin angin *Savonius* dengan bilangan *Reynolds* $9,0 \times 10^4$ dengan bukaan plat pengganggu 30°

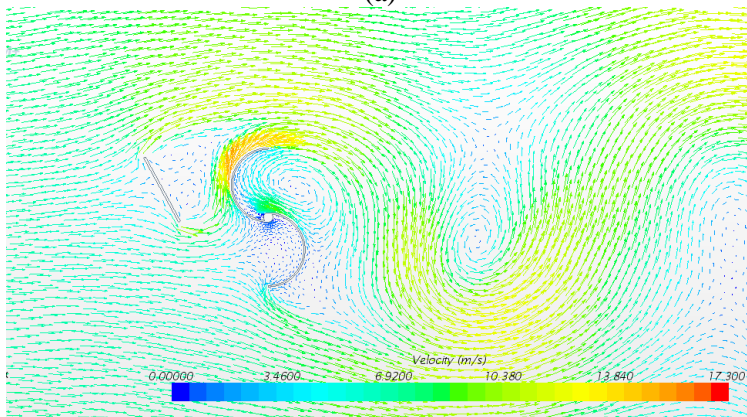
Pada gambar 4.15 disajikan hasil simulasi berupa distribusi tekanan aliran udara di daerah sekitar turbin saat dipasang plat pengganggu dengan sudut bukaan plat pengganggu sebesar 30° pada bilangan *Reynolds* $9,0 \times 10^4$. Pada gambar terlihat distribusi tekanan pada *advancing blade*, di depan plat pengganggu, dan daerah di depan *returning blade*. Pada daerah di depan *returning blade*, distribusi tekanan menunjukkan warna biru yang lebih mengarah ke daerah ujung sisi turbin, sedangkan pada sisi *advancing blade*, distribusi tekanan menunjukkan warna merah, dan untuk daerah di depan plat pengganggu ditunjukkan distribusi tekanan berwarna merah pada sisi tengah dan berangsur berubah

menjadi kuning. Daerah di belakang *advancing blade* memiliki warna kuning dan hijau. Hal ini menunjukkan tekanan yang lebih tinggi dibandingkan daerah *returning blade* yang memiliki warna hijau dan biru. Dari penjelasan gambar tersebut menunjukkan bahwa daerah di depan *advancing blade* memiliki distribusi tekanan yang paling tinggi, berikutnya di daerah depan plat menunjukkan distribusi tekanan yang lebih rendah dari daerah *advancing blade*. Sedangkan pada daerah di depan *returning blade*, menunjukkan distribusi tekanan paling rendah, sehingga angin akan lebih cenderung memiliki kecepatan lebih tinggi pada *advancing blade* daripada daerah *returning blade*.

Dari penjelasan kedua gambar diatas dapat kita lihat perbedaan signifikan distribusi tekanan di daerah *returning blade*. Dengan bukaan 30° pada plat pengganggu menunjukkan bahwa distribusi tekanan dari daerah *returning blade* lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa plat pengganggu. Dari gambar juga terlihat bahwa dengan penambahan sudut bukaan plat pengganggu maka gaya *drag* pada *returning blade* akan meningkat. Hal ini akan menurunkan selisih gaya *drag* pada sisi *returning blade* dan *advancing blade*. Sehingga putaran dari turbin pun akan menurun.



(a)



(b)

Gambar 4.16 Simulasi vektor kecepatan pada turbin angin *Savonius* dengan bilangan *Reynolds* $9,0 \times 10^4$ dengan (a) bukaan plat pengganggu 0° (b) bukaan plat pengganggu 30°

Selain itu, analisa melalui hasil simulasi vektor kecepatan pada sudut bukaan plat pengganggu menunjukkan bahwa plat pengganggu menutupi aliran udara di depan *returning blade* kurang maksimal. Hal ini ditunjukkan dengan daerah *wake* yang

lebih luas bila dibandingkan dengan bukaan plat 0° . Dengan begitu maka aliran udara akan menerobos melalui sisi luar dari plat pengganggu dan meningkatkan gaya *drag* pada sisi *returning blade*. Hasilnya didapatkan selisih gaya *drag* antara *returning blade* dan *advancing blade* lebih rendah dibanding bukaan sudut plat pengganggu 0° .

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini, plat pengganggu dengan ukuran $L/D = 1$ di depan *returning blade* turbin *Savonius* pada variasi bukaan sudut plat pengganggu $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ dengan $Re = 3,0 \times 10^4$; $6,0 \times 10^4$ dan $9,0 \times 10^4$ diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Penggunaan plat pengganggu yang diletakkan di depan *returning blade* turbin angin tipe *Savonius* efektif dalam meningkatkan performa turbin angin.
2. Variasi sudut bukaan plat pengganggu yang diteliti berpengaruh terhadap performa turbin angin tipe *Savonius*.
3. Pada $Re = 3,0 \times 10^4$ kenaikan maksimum dari kecepatan putar sebesar 1,129 kali $Re = 6,0 \times 10^4$ kenaikan maksimum dari kecepatan putar sebesar 1,240 kali dan pada $Re = 9,0 \times 10^4$ kenaikan maksimum kecepatan putar sebesar 1,132 kali.
4. Pada $Re = 3,0 \times 10^4$ kenaikan maksimum dari torsi statis sebesar 1,9 kali, $Re = 6,0 \times 10^4$ kenaikan maksimum dari torsi statis sebesar 2,03 kali dan pada kenaikan maksimum torsi statis sebesar 2,47 kali.
5. Pada $Re = 3,0 \times 10^4$ kenaikan maksimum dari *Coefficient of Power* sebesar 1,16 kali lipat dari nilai *Coefficient of Power* awal. Pada $Re = 6,0 \times 10^4$ kenaikan maksimum dari *Coefficient of Power* $Re = 9,0 \times 10^4$ of *Power* sebesar 1,4 kali lipat dan pada $Re = 9,0 \times 10^4$ kenaikan maksimum *Coefficient of Power* sebesar 1,002 kali lipat.
6. Untuk semua bilangan *Reynolds* yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan sudut bukaan plat pengganggu optimum bernilai 0° ditandai dengan nilai puncak (*peak value*) dari kecepatan putar dan *Coefficient of Power* turbin angin *Savonius* berpengganggu.
7. Untuk *design* dan ukuran turbin *Savonius* yang digunakan dalam penelitian ini, tampak bahwa pengoperasian pada bilangan *Reynolds* $6,0 \times 10^4$ mempunyai peningkatan

performa turbin paling tinggi dibandingkan bilangan *Reynold* $3,0 \times 10^4$ dan $9,0 \times 10^4$.

5.2 Saran

Adapun Saran untuk eksperimen yang telah dilakukan ini adalah sebagai berikut :

1. Dalam pembuatan turbin angin *Savonius*, mohon diperhatikan *balance* masa pada setiap komponen turbin, agar kecepatan putar turbin tidak menghasilkan getaran dan rugi rugi daya dan gesekan.
2. Penggunaan alat ukur digital sebaiknya diaplikasikan sehingga data yang diperoleh lebih detail dan akurat.
3. Ukuran turbin diperbesar, sehingga data yang diperoleh semakin tinggi dan kemungkinan gangguan dan kerancuan data semakin kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Al-Shemmeri, T., 2010. Wind Turbines, T. Al-Shemmeri & Ventus Publishing ApS. Diperoleh pada 3 Desember, 2016, dari [www:http://sietm.com/wpcontent/uploads/2015/03/wind-turbines.pdf](http://sietm.com/wpcontent/uploads/2015/03/wind-turbines.pdf) , pp. 34–77
- [2]. Altan, B.D., dan Atilgan, M. 2010. *The Use of a Curtain Design to Increase the Performance Level of a Savonius Wind Rotors*. Renewable Energy, 35, pp. 821-829.
- [3]. B.D. Altan, M. Atilgan, A. Özdamar. 2008. *An experimental study on improvement of a Savonius rotor performance with curtaining*. Exp. Therm. Fluid Sci., 32, pp. 1673–1678.
- [4]. Fox, Robert W dan Alan T. Mc Donald, “*Introduction to Fluid Mechanics, fourth edition*”, SI Version, John Wiley & Sons, Inc, Canada, 1994.
- [5]. M.H. Mohamed, G. Janiga, dan E.Pap.Thevenin. 2010. *Optimization of Savonius turbines using an obstacle shielding the returning blade*. Renewable Energy, 35, pp. 2618-2626.
- [6]. Perdana, Pramudya nur. ”Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin (PLTB).” Jendela den Ngabei. 2 November 2012. 5 Februari 2017 < <http://jendeladenngabei.blogspot.co.id/2012/11/pembangkit-listrik-tenaga-bayu-angin.html>;
- [7]. Yoga. 2016. *Studi eksperimen pengaruh sudut plat pengganggu di depan returning blade turbin angin tipe Savonius terhadap performa turbin “studi kasus untuk rasio lebar plat pengganggu terhadap diameter turbin ($l/d = 1,4144$ ” (Skripsi)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

Data Hasil Pengukuran untuk $Re\ 3,0 \times 10^4$

Sudut Bukaan Plat	n (RPM) mean	m (gr)	s (gr)	ω (rad/s)	T (Nm)	COP (%)	TSR
TANPA PLAT	102.24	5	20	10.707	0.002	3.229	0.411
0	140.41	6	21	14.704	0.002	4.435	0.564
5	139.00	7	22	14.556	0.002	4.390	0.558
10	136.17	6	21	14.260	0.002	4.301	0.547
15	134.15	6	21	14.048	0.002	4.237	0.539
20	132.20	7	22	13.844	0.002	4.175	0.531
25	128.75	6	21	13.483	0.002	4.067	0.517
30	126.60	6	21	13.258	0.002	3.999	0.508
35	124.18	6	21	13.005	0.002	3.922	0.499
40	121.00	6	21	12.671	0.002	3.822	0.486
45	127.60	5	19	13.362	0.001	3.761	0.512
50	108.45	6	22	11.357	0.002	3.654	0.435
55	120.80	5	19	12.650	0.001	3.561	0.485
60	118.80	5	19	12.441	0.001	3.502	0.477
65	115.94	5	19	12.142	0.001	3.418	0.466
70	114.08	6	20	11.946	0.001	3.363	0.458
75	113.07	5	19	11.840	0.001	3.333	0.454
80	111.72	5	19	11.699	0.001	3.293	0.449
85	96.80	5	21	10.137	0.002	3.261	0.389
90	90.80	5	22	9.509	0.002	3.250	0.365

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

Data Hasil Pengukuran untuk $Re\ 6,0 \times 10^4$

Sudut Bukaan Plat	n (RPM) mean	m (gr)	s (gr)	ω (rad/s)	T (Nm)	COP (%)	TSR
TANPA PLAT	40	140	10.5	0.0103	4.7692	0.3638	40
0	40	150	10.5	0.011	6.68218	0.4634	40
5	40	160	10.5	0.012	6.51268	0.4140	40
10	45	160	10.5	0.012	6.47741	0.4297	45
15	40	150	10.5	0.011	6.34228	0.4398	40
20	45	150	10.5	0.011	6.29043	0.4570	45
25	45	160	10.5	0.012	6.27159	0.4160	45
30	45	150	10.5	0.011	6.20158	0.4506	45
35	40	150	10.5	0.011	6.14367	0.4261	40
40	35	130	10.5	0.010	6.07603	0.4879	35
45	30	120	10.5	0.009	5.96547	0.5056	30
50	35	150	10.5	0.012	5.90837	0.3919	35
55	35	150	10.5	0.012	5.85388	0.3883	35
60	35	140	10.5	0.011	5.79809	0.4212	35
65	35	150	10.5	0.012	5.76308	0.3823	35
70	30	130	10.5	0.010	5.71976	0.4363	30
75	35	150	10.5	0.012	5.68438	0.3771	35
80	35	150	10.5	0.012	5.62385	0.3731	35
85	30	140	10.5	0.011	5.58200	0.3871	30
90	35	170	10.5	0.014	5.56145	0.3143	35

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

Data Hasil Pengukuran untuk $Re\ 9,0 \times 10^4$

Sudut Bukaan Plat	n (RPM) mean	m (gr)	s (gr)	ω (rad/s)	T (Nm)	COP (%)	TSR
TANPA PLAT	325.4	100	220	34.076	0.012	3.033	0.435
0	477.6	60	170	50.014	0.011	4.081	0.638
5	461.2	80	190	48.297	0.011	3.940	0.617
10	457.2	80	190	47.878	0.011	3.906	0.611
15	446.4	100	210	46.747	0.011	3.814	0.597
20	437.4	100	210	45.804	0.011	3.737	0.585
25	431.6	80	190	45.197	0.011	3.688	0.577
30	424.6	80	190	44.464	0.011	3.628	0.568
35	416.8	60	170	43.647	0.011	3.561	0.557
40	409.8	80	190	42.914	0.011	3.501	0.548
45	405.4	100	210	42.453	0.011	3.464	0.542
50	398.8	80	190	41.762	0.011	3.407	0.533
55	393.0	100	210	41.155	0.011	3.358	0.525
60	386.8	100	210	40.506	0.011	3.305	0.517
65	381.2	100	210	39.919	0.011	3.257	0.510
70	375.4	80	190	39.312	0.011	3.207	0.502
75	370.8	100	210	38.830	0.011	3.168	0.496
80	364.8	60	170	38.202	0.011	3.117	0.488
85	360.2	80	190	37.720	0.011	3.078	0.482
90	355.8	80	190	37.259	0.011	3.040	0.476

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan



Penulis Bernama Lengkap Annas Fauzy, dilahirkan di kota Malang pada 7 Januari 1995. Pendidikan formal penulis dimulai pada tahun 2001 di SDN Kauman 1 Malang, kemudian melanjutkan ke SMPN 5 Malang. Setelah lulus SMP, penulis melanjutkan studi di SMAN 1 Malang pada tahun 2010. Pada tahun 2013, penulis diterima di Departemen S1 Teknik Mesin FTI ITS. Dalam proses kuliah ini penulis memilih bidang minat Konversi Energi, dan menjadi bagian dari Lab. Mekanika

dan Mesin Fluida.

Semasa kuliah penulis aktif di berbagai kegiatan mahasiswa, baik intra maupun ekstra kampus. Pada tahun 2017 penulis telah berhasil menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI SUDUT PENEMPATAN PLAT DATAR PENGANGGU DI DEPAN RETURNING BLADE TERHADAP PERFORMA TURBIN ANGIN SAVONIUS”**. Penulis memiliki keinginan agar tulisan yang di buat dapat membantu permasalahan yang tertulis di latar belakang.

E-mail : annasfauzy10@gmail.com
SMS/WA : 085706461700